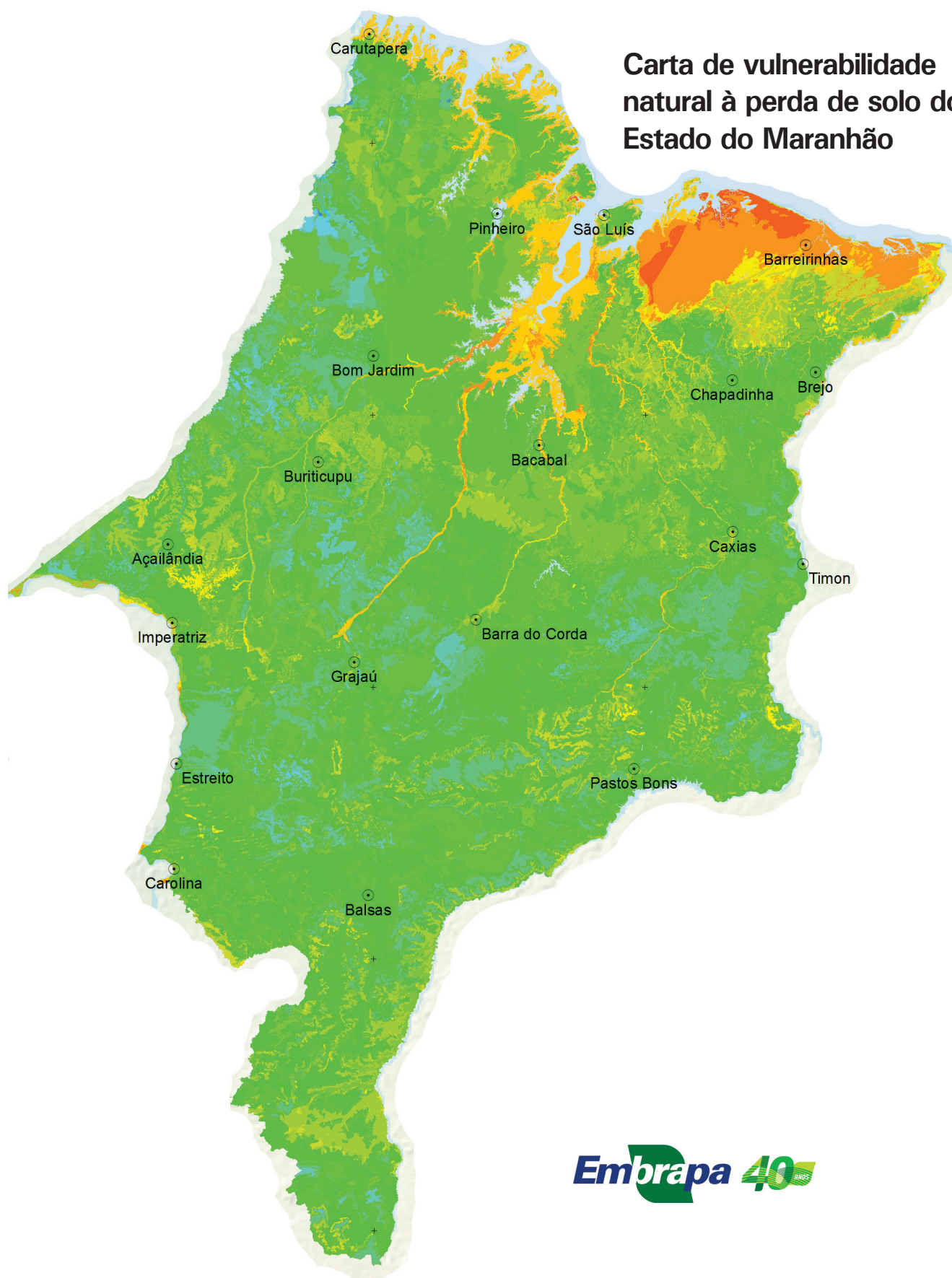


Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Monitoramento por Satélite
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 100

Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão

*Carlos Fernando Quartaroli
Luciana Spinelli de Araujo
Edlene Aparecida Monteiro Garçon*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Monitoramento por Satélite

Av. Soldado Passarinho, 303 - Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP

Fone: (19) 3211-6200

Fax: (19) 3211-6222

www.cnpm.embrapa.br

sac@cnpm.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Cristina Criscuolo

Secretária-Executiva: Bibiana Teixeira de Almeida

Membros: Daniel Gomes dos Santos Wendriner Loebmann,
Fabio Enrique Torresan, Janice Freitas Leivas, Ricardo Guimarães
Andrade, Shirley Soares da Silva e Vera Viana dos Santos

Supervisão editorial: Cristina Criscuolo

Revisão de texto: Bibiana Teixeira de Almeida

Normalização bibliográfica: Vera Viana dos Santos

Editoração eletrônica: Shirley Soares da Silva

1ª edição

Versão eletrônica (2013)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Monitoramento por Satélite

Quartaroli, Carlos Fernando.

Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão/
Carlos Fernando Quartaroli, Luciana Spinelli de Araujo, Edlene Aparecida
Monteiro Garçon. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013.

44 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Documentos, 100).
ISSN 0103-7811.

1. Perda de solo. 2. Zoneamento ecológico. I. Araujo, Luciana
Spinelli de. II. Garçon, Edlene Aparecida Monteiro. III. Embrapa.
Centro Nacional de Pesquisa de Monitoramento por Satélite (Campinas,
SP). IV. Título. V. Série.

CDD 333.70981 (21.ed.)

© Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013

Autores

Carlos Fernando Quartaroli

Engenheiro Agrônomo, Físico, Mestre em Agronomia,
pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite,
Campinas-SP
carlos.quartaroli@embrapa.br

Luciana Spinelli de Araujo

Engenheira Florestal, Doutora em Ecologia Aplicada,
pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite,
Campinas-SP
luciana.spinelli@embrapa.br

Edlene Aparecida Monteiro Garçon

Geógrafa, analista da Embrapa Monitoramento por Satélite,
Campinas-SP
edlene.garcon@embrapa.br

Sumário

Introdução	9
Metodologia.....	9
Resultados	12
Cartas de vulnerabilidade temáticas.....	12
Geologia	12
Geomorfologia	17
Pedologia.....	23
Vegetação	27
Clima	30
Cartas de vulnerabilidade natural à perda de solos	34
Vulnerabilidade natural das unidades dos sistemas ambientais	37
Referências	42

Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão

Carlos Fernando Quartaroli

Luciana Spinelli de Araujo

Edlene Aparecida Monteiro Garçon

Introdução

O zoneamento ecológico-econômico (ZEE) é um instrumento para planejar e ordenar o território brasileiro, harmonizando as relações econômicas, sociais e ambientais. Demanda um efetivo esforço de compartilhamento institucional, voltado para a integração das ações e políticas públicas territoriais, bem como articulação com a sociedade civil, integrando seus interesses em torno de um pacto pela gestão do território (BRASIL, 2010b). Nos últimos anos, o ZEE tem sido a proposta do governo brasileiro para subsidiar as decisões de planejamento do desenvolvimento e do uso do território nacional em bases sustentáveis, tornando-se um Programa do Plano Plurianual (PPA) do governo federal (BRASIL, 2010a), gerenciado pelo Ministério do Meio Ambiente e com execução descentralizada por diversos órgãos federais e estaduais.

O ZEE deve obedecer os critérios definidos pelo Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002), alterado pelo Decreto nº 6.288, de 6 de dezembro de 2007 (BRASIL, 2007). Entre esses critérios está a divisão do território em zonas e o diagnóstico dos recursos naturais, da socioeconomia e do marco jurídico-institucional para cada zona. Em seu artigo 13º, o decreto determina que o diagnóstico de cada zona deverá conter “indicadores de vulnerabilidade natural à perda de solo” entre outros indicadores de fragilidade natural potencial exigidos como conteúdo mínimo.

Para atender tal exigência, foi elaborada a carta de “Vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão”, apresentada neste documento e parte integrante do Macrozoneamento ecológico-econômico do Estado do Maranhão executado pela Embrapa Monitoramento por Satélite e Embrapa Cocais.

Metodologia

Segundo os princípios da ecodinâmica de Tricart (1977), as paisagens naturais podem ser classificadas em três categorias morfodinâmicas:


1. Meios estáveis: caracterizados por cobertura vegetal densa, dissecação moderada e ausência de manifestações vulcânicas;
2. Meios intermediários: caracterizados pelo balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas;
3. Meios fortemente instáveis: caracterizados por condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas; relevo com vigorosa dissecação; presença de solos rasos; inexistência de cobertura vegetal densa; planícies e fundos de vales sujeitos a inundações; e geodinâmica interna intensa.

Baseados nesses princípios, Crepani et al. (1996, 2001) desenvolveram uma metodologia para a avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solo, originalmente para o zoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal. Consideraram que a vulnerabilidade natural de uma unidade da paisagem está relacionada ao grau de estabilidade e à relação pedogênese/morfogênese de sua categoria morfodinâmica e estabeleceram valores de estabilidade/vulnerabilidade para cada categoria morfodinâmica, como é mostrado na Tabela 1. Posteriormente, expandiram a escala de estabilidade/vulnerabilidade para 21 valores (Tabela 2).

Tabela 1. Relação pedogênese/morfogênese e valor de estabilidade/vulnerabilidade para cada categoria morfodinâmica.

Categoria morfodinâmica	Relação pedogênese/morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio pedogênese/morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Tabela 2. Escala de vulnerabilidade natural e sua representação cartográfica segundo Crepani et al. (1996, 2001).

	Vulnerabilidade		Representação cartográfica			
	Valores	Classes	vermelho	verde	azul	cores
	3,0	Vulnerável	255	0	0	
	2,9		255	51	0	
	2,8		255	102	0	
	2,7		255	153	0	
	2,6	Moderadamente vulnerável	255	204	0	
	2,5		255	255	0	
	2,4		204	255	0	
	2,3		153	255	0	
	2,2	Medianamente estável/vulnerável	102	255	0	
	2,1		51	255	0	
	2,0		0	255	0	
	1,9		0	255	51	
	1,8	Moderadamente estável	0	255	102	
	1,7		0	255	153	
	1,6		0	255	204	
	1,5		0	255	255	
	1,4	Estável	0	204	255	
	1,3		0	153	255	
	1,2		0	102	255	
	1,1		0	51	255	
	1,0		0	0	255	

Para a avaliação da vulnerabilidade natural à perda de solos, esses autores propuseram que valores relativos e empíricos de vulnerabilidade, segundo a escala da Tabela 2, fossem atribuídos aos elementos do meio físico e biótico sintetizados em cinco temas: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação/Usos da terra e Clima. A vulnerabilidade natural à perda de solo poderia, então, ser calculada pela média aritmética simples da vulnerabilidade dos cinco temas, supondo que cada tema tenha a mesma importância (peso) para o estabelecimento do grau de vulnerabilidade natural à perda de solo.

A carta de vulnerabilidade natural à perda de solos do Estado do Maranhão foi elaborada com base na metodologia de Crepani et al. (1996, 2001) descrita anteriormente. Mapas temáticos digitais dos cinco temas do meio físico e biótico foram utilizados. Às unidades de mapeamento de cada tema, foram atribuídos valores de vulnerabilidade segundo a Tabela 2 e considerando os parâmetros indicadores da categoria morfodinâmica

de cada unidade, como a espessura e maturidade do solo, ou parâmetros capazes de influir decisivamente no desenvolvimento dos processos morfodinâmicos, como o grau de coesão das rochas, a densidade de cobertura vegetal, os índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica (CREPANI et al., 2001). Desse procedimento, resultaram as cinco cartas de vulnerabilidade natural temáticas, referentes a Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação/Usos da terra e Clima. Os valores de vulnerabilidade nessas cartas foram representados pelas cores especificadas na Tabela 2.

Posteriormente, procedeu-se à intersecção geométrica entre as cartas de vulnerabilidade de cada tema em um sistema de informação geográfica (SIG). Aos arquivos com as feições gráficas vetoriais georreferenciadas de cada tema foi associada tabela de atributos com registro do valor de vulnerabilidade atribuído a cada feição. Da intersecção das cartas, surgiram novas feições que herdaram, em seu registro, os valores de vulnerabilidade das feições originais. Uma operação aritmética entre esses atributos permitiu associar um valor a essas novas feições, de acordo com a Equação 1:

$$V = (G + R + S + Vg + C) / 5 \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

V = vulnerabilidade natural à Perda de solo;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima.

Os valores resultantes dessa operação, também dentro do intervalo entre 1,0 e 3,0, representam a vulnerabilidade natural à perda de solo (V) das unidades territoriais resultantes do cruzamento das cartas de vulnerabilidade de cada tema. A representação cartográfica da estabilidade, ou vulnerabilidade, dessas unidades territoriais também foi feita segundo as 21 cores especificadas na Tabela 2. Essas cores foram obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (azul, verde e vermelho) de forma a associar a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor. Ao valor de maior estabilidade (1,0) foi associada a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0), a cor verde, e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0), a cor vermelha. Aos valores situados de 1,1 a 1,9 na escala de vulnerabilidade, foram associadas cores resultantes da combinação entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo à medida que se aproximava de 2,0. Aos valores de 2,1 a 2,9, foram associadas cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo à medida que o valor da vulnerabilidade se aproximava de 3,0. Na escolha das cores, procurou-se obedecer aos critérios de comunicação visual que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) situações de emergência, e às cores “frias” e seus matizes (azul, verde), situações de tranquilidade (CREPANI et al., 2001).

Para uma representação simplificada das classes de vulnerabilidade, as 21 classes iniciais foram agrupadas em apenas 5 classes: estável, moderadamente estável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente vulnerável e vulnerável, também segundo proposta de Crepani et al. (2001). O critério usado para esse agrupamento também está representado na Tabela 2.

Resultados

Cartas de vulnerabilidade temáticas

Os produtos iniciais da aplicação da metodologia de Crepani et al. (1996, 2001) são as cartas de vulnerabilidade referentes aos cinco temas do meio físico e biótico: Geologia, Geomorfologia, Solos, Vegetação/Uso da terra e Clima. Essas cartas são apresentadas a seguir, em escala reduzida, antecipadas por considerações e critérios aplicados a cada tema para a atribuição de valores de vulnerabilidade.

Geologia

A contribuição da Geologia para a análise e definição da categoria morfodinâmica da unidade de paisagem natural compreende as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade se encontra e as informações relativas ao grau de coesão das rochas que a compõem. O grau de coesão representa a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que constituem as rochas e é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir da ecodinâmica, uma vez que, em rochas pouco coesas, devem prevalecer os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto, em rochas bastante coesas, devem prevalecer os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese) (CREPANI et al., 2001).

O acesso do agente intemperizador (água) e a remoção do produto intemperizado são aspectos importantes a serem considerados em relação ao intemperismo das rochas, pois quanto mais o agente intemperizador fica em contato com o mineral, mais ele será intemperizado. Portanto, quanto mais porosa é a rocha, ou mais fraturada, mais a água pode atacar seus grãos constituintes e mais rapidamente também são retirados os produtos do intemperismo para que novas superfícies do cristal sejam expostas e intemperizadas (CREPANI et al., 2001).

A atribuição de valores de denudação (intemperismo + erosão) aos litótipos encontrados nas diversas unidades geológico-ambientais do Estado do Maranhão (Figura 1) foi feita de forma relativa e empírica, considerando o grau de coesão das rochas, sua suscetibilidade ao intemperismo físico e químico e os valores de vulnerabilidade sugeridos por Crepani et al. (2001) (Tabela 3). As unidades geológico-ambientais consideradas e seus respectivos litótipos são aquelas que constam do Mapa de geodiversidade do Estado do Maranhão, disponível em arquivo do tipo *shapefile* (CPRM, 2013b), com a representação gráfica vetorial georreferenciada das unidades de mapeamento associadas a registros com os atributos de cada unidade. Os valores atribuídos às unidades geológico-ambientais são apresentados na Tabela 4. Unidades que apresentavam áreas com litótipos diferentes foram subdivididas, e cada subdivisão recebeu um valor diferente de vulnerabilidade. A carta de vulnerabilidade associada ao tema Geologia é apresentada na Figura 2.

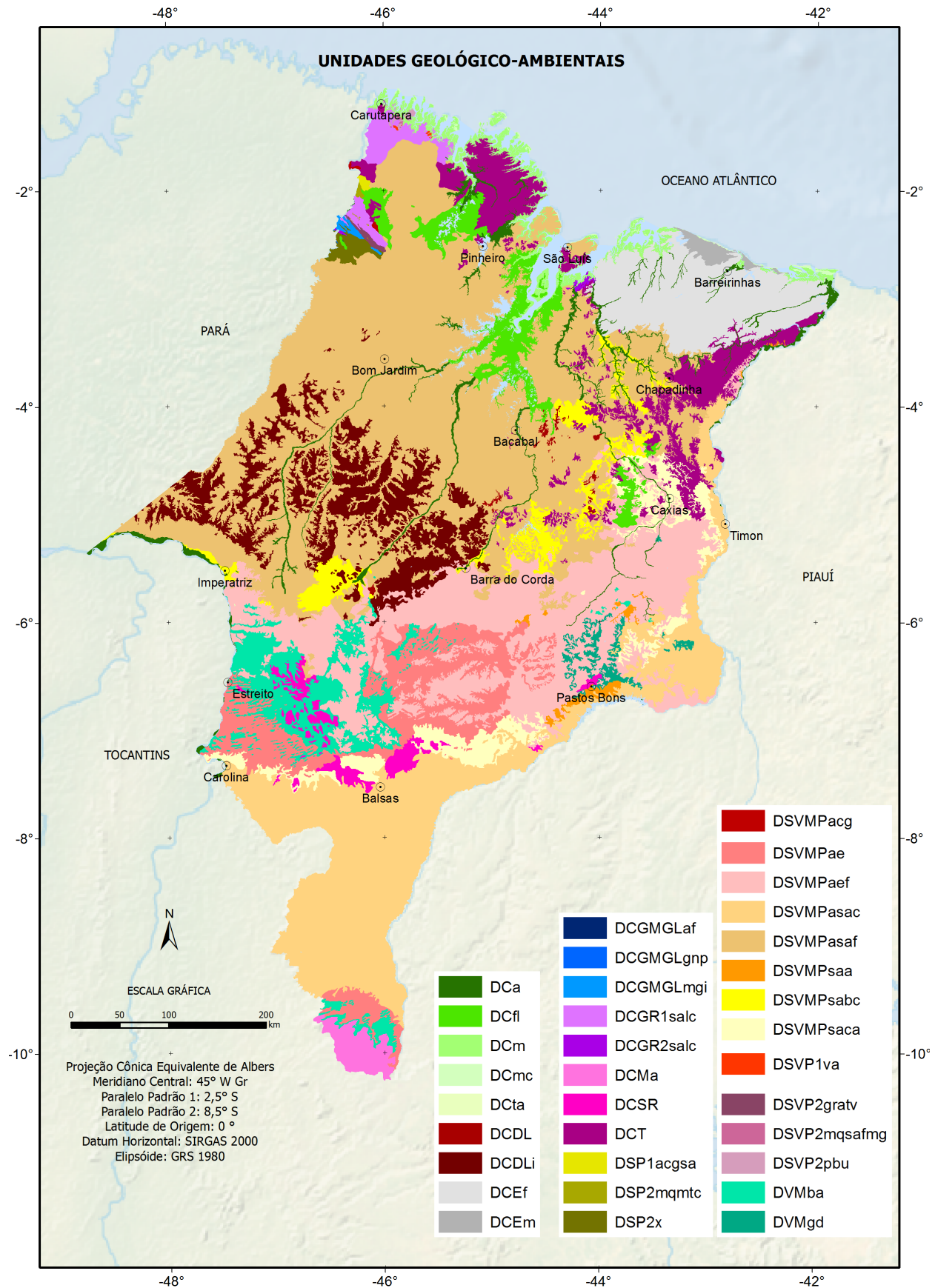


Figura 1. Mapa de unidades geológico-ambientais do Estado do Maranhão, segundo CPRM (2013b).

Tabela 3. Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.

Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Filito, metassiltito	2,1
Riólito, granito, dacito	1,1	Ardósia, metargilito	2,2
Granodiorito, quartzo diorito, granulitos, tonalitos	1,2	Mármore	2,3
Migmatitos, gnaisses	1,3	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Fonólito, nefelina sienito, traquito, sienito	1,4	Conglomerados, subgrauvacas	2,5
Andesito, diorito, basalto	1,5	Grauvacas, arcózios	2,6
Anortosito, gabro, peridotito	1,6	Siltitos, argilitos	2,7
Milonitos, quartzo-muscovita-biotita-clorita-xisto	1,7	Folhelhos	2,8
Piroxenito, anfíbolito, kimberlito, dunito	1,8	Calcários, dolomitos, margas, evaporitos	2,9
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Sedimentos inconsolidados, aluviões, colúvios	3,0
Estaurolita xisto, xistos granatíferos	2,0		

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001).

Tabela 4. Caracterização e valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades geológico-ambientais.

Domínio	Sigla da unidade	Caracterização da unidade geológico-ambiental segundo CPRM (2013b)	Vulnerabilidade
DC – domínio dos sedimentos cenozoicos inconsolidados ou pouco consolidados	DCa	Ambiente de planícies aluvionares recentes – Material inconsolidado e de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	3,0
	DCfl	Ambiente fluviolacustre – Predomínio de sedimentos arenosos, intercalados com camadas argilosas, ocasionalmente com presença de turfa.	3,0
	DCm	Ambiente misto (marinho/continental) – Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, argilosos, em geral ricos em matéria orgânica (mangues).	3,0
	DCmc	Ambiente marinho costeiro – Predomínio de sedimentos arenosos.	3,0
	DCta	Ambiente de terraços aluvionares – Material inconsolidado a semiconsolidado, de espessura variável. Da base para o topo, é formado por cascalho, areia e argila.	3,0
DCDL – domínio das coberturas cenozoicas detritico-lateríticas	DCDL	Depósitos detrito-lateríticos – Provenientes de processos de laterização em rochas de composições diversas, sem a presença de crosta.	3,0
	DCDLi	Horizonte laterítico in situ – Proveniente de processos de laterização em rochas de composições diversas, formando crosta. Exemplo: crostas ferruginosas.	3,0
DCE – domínio dos sedimentos cenozoicos eólicos	DCEf	Dunas fixas – Material arenoso fixado pela vegetação.	3,0
	DCEm	Dunas móveis – Material arenoso inconsolidado.	3,0
DCGMGL – domínio dos complexos gnaiss-migmatíticos e granulitos	DCGMGLaf	Anfíbolitos.	1,8
	DCGMGLgnp	Predomínio de gnaisses paraderivados. Podem conter porções migmatíticas.	1,2
	DCGMGLmgi	Migmatitos indiferenciados.	1,3
DCGR1 – domínio dos complexos granitoides não deformados	DCGR1salc	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Exemplo: sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos, etc.	1,1 a 1,2
DCGR2 – domínio dos complexos granitoides deformados	DCGR2salc	Séries graníticas subalcalinas: calcialcalinas (baixo, médio e alto-K) e toleíticas. Exemplo: sienogranitos, monzogranitos, granodioritos, tonalitos, dioritos, quartzomonzonitos, monzonitos, etc.	1,2

Cont...

Tabela 4. Continuação.

Domínio	Sigla da unidade	Caracterização da unidade geológico-ambiental segundo CPRM (2013b)	Vulnerabilidade
DCM – domínio dos sedimentos cenozoicos e/ou mesozoicos, de pouco a moderadamente consolidados, associados a profundas e extensas bacias continentais	DCMa	Predomínio de sedimentos arenosos, de deposição continental, lacustre, fluvial ou eólica – arenitos. Exemplo: Formação Urucua.	2,4
DCSR – domínio dos sedimentos indiferenciados cenozoicos relacionados a retrabalhamentos de outras rochas, geralmente associados a superfícies de aplainamento	DCSR	Relacionado a sedimentos retrabalhados de outras rochas – Coberturas arenoconglomeráticas e/ou siltico-argilosas associadas a superfícies de aplainamento.	3,0
DCT – domínio dos sedimentos cenozoicos, pouco a moderadamente consolidados, associados a tabuleiros	DCT	Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho).	2,9
DSP1 – domínio das coberturas sedimentares proterozoicas, não ou muito pouco dobradas e metamorfizadas, caracterizadas por um empilhamento de camadas horizontalizadas e sub-horizontalizadas de várias espessuras, de sedimentos clastoquímicos de várias composições	DSP1acgsa	Predomínio de sedimentos arenosos e conglomeráticos, com intercalações subordinadas de sedimentos siltico-argilosos.	2,6
DSP2 – domínio das sequências sedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau	DSP2mqmtc	Metarenitos, quartzitos e metaconglomerados.	2,4
	DSP2x	Predomínio de metassedimentos siltico-argilosos, representados por xistos.	1,3 a 1,7
DSVMP – domínio das coberturas sedimentares e vulcanossedimentares mesozoicas e paleozoicas, pouco a moderadamente consolidadas, associadas a grandes e profundas bacias sedimentares do tipo sinéclise (ambientes deposicionais: continental, marinho, desértico, glacial e vulcânico)	DSVMPacg	Predomínio de arenitos e conglomerados.	2,6
	DSVMPae	Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição eólica.	2,4
	DSVMPaef	Predomínio de espessos pacotes de arenitos de deposição mista (eólica e fluvial).	2,4 a 2,7
	DSVMPasac	Intercalações irregulares de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e calcários.	2,7
	DSVMPasaf	Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folhelhos.	2,5 a 2,6
	DSVMPsaa	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos com intercalações arenosas.	2,6 a 2,7
	DSVMPsabc	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos intercalados de folhelhos betuminosos e calcários.	2,8
	DSVMPsaca	Predomínio de sedimentos siltico-argilosos e calcários com intercalações arenosas subordinadas.	2,6
DSVP1 – domínio das sequências vulcânicas ou vulcanossedimentares proterozoicas, não ou pouco dobradas e metamorfizadas	DSVP1va	Predomínio de vulcanismo ácido a intermediário.	1,1 a 1,3
DSVP2 – domínio das sequências vulcanossedimentares proterozoicas dobradas, metamorfizadas de baixo a alto grau	DSVP2gratv	Metarenitos feldspáticos, metarenitos, tufos e metavulcânicas básicas a intermediárias.	1,4
	DSVP2mqsafmg	Predomínio de metarenitos e quartzitos com intercalações irregulares de metassedimentos siltico-argilosos e formações ferríferas ou manganíferas.	1,0
	DSVP2pbu	Predomínio de metapelitos com intercalações de rochas metabásicas e/ou metaultramáficas.	1,1 a 1,9
DVM – domínio do vulcanismo fissural do tipo platô	DVMba	Predomínio de basalto com intertraps subordinados de arenito	1,5
	DVMgd	Predomínio de rochas básicas intrusivas.	1,5

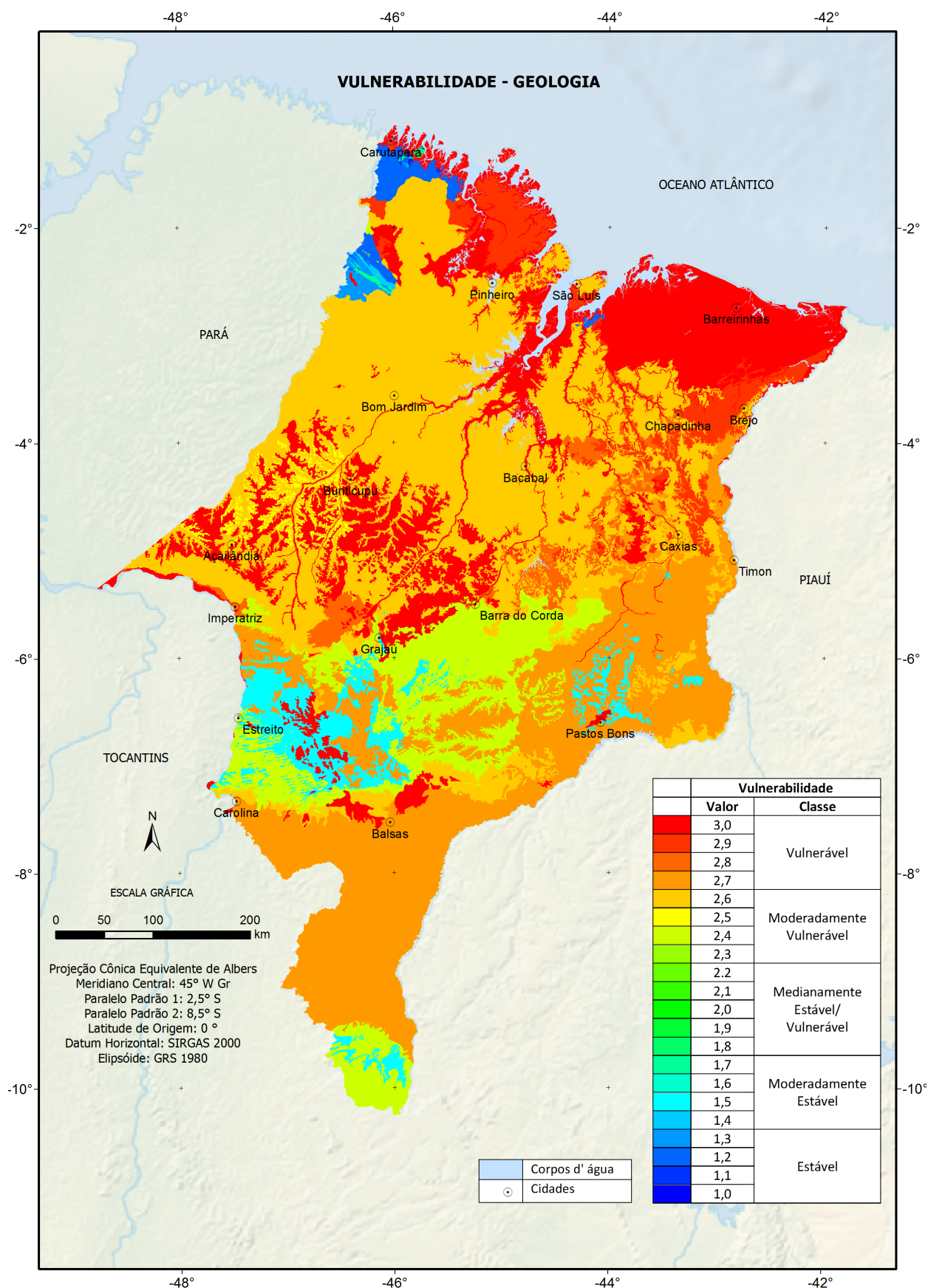


Figura 2. Carta de vulnerabilidade para o tema Geologia.

Geomorfologia

A avaliação da vulnerabilidade relacionada ao tema Geomorfologia consistiu na atribuição relativa e empírica de valores de 1,0 a 3,0 aos padrões de relevo (Figura 3) que constam do “Mapa de geodiversidade do Estado do Maranhão” (CPRM, 2013b). Os valores atribuídos (Tabela 5) foram baseados nas características dos padrões de relevo (dissecação, rede de drenagem, suscetibilidade à erosão, predomínio de morfogênese ou pedogênese, declividade, amplitude de relevo, etc.) descritas por Dantas (2013) e reproduzidas na Tabela 5.

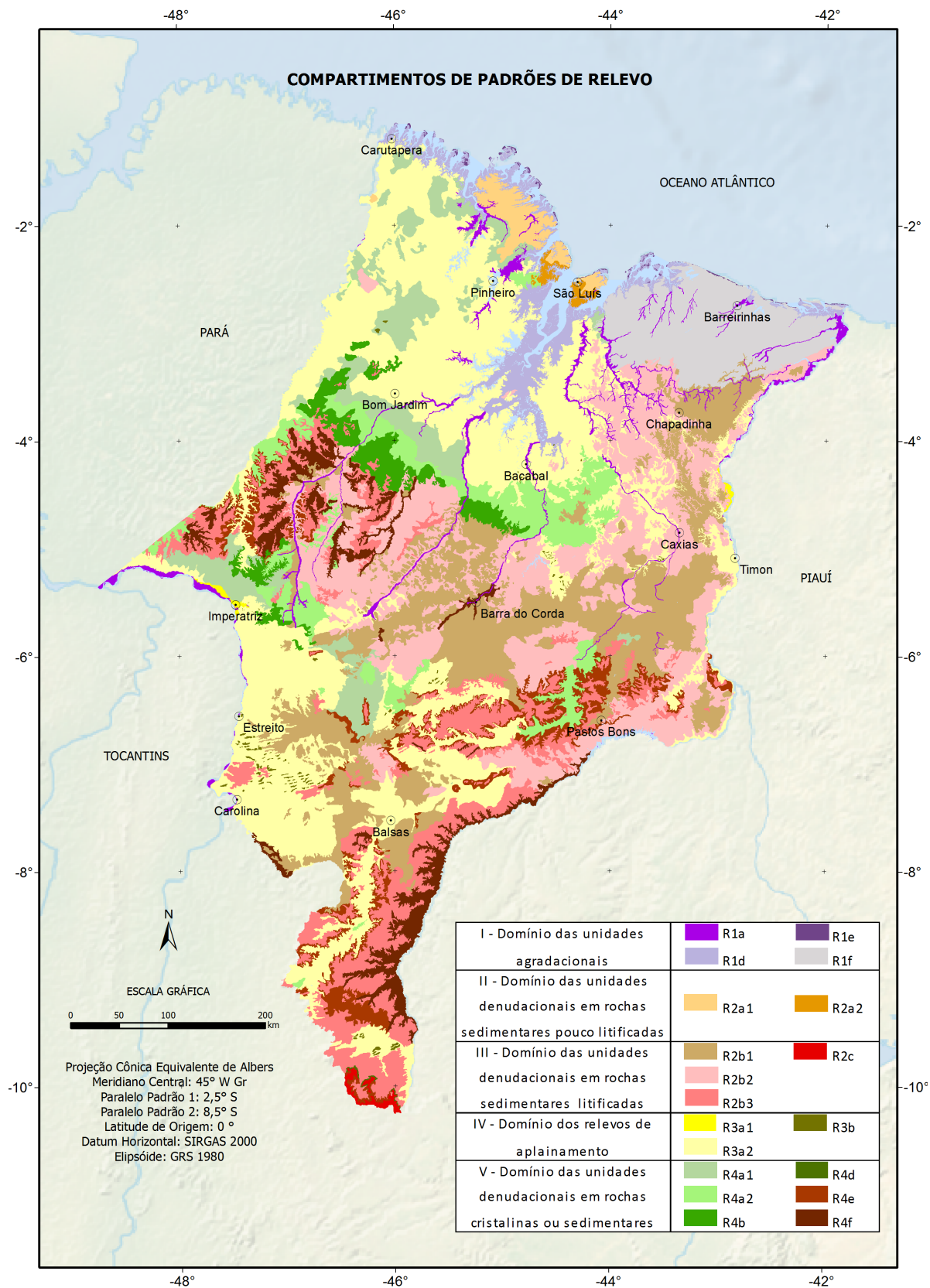


Figura 3. Mapa de padrões de relevo para o Estado do Maranhão.

Tabela 5. Valores de vulnerabilidade atribuídos às diferentes formas de relevo.

Sigla	Padrão de relevo	Características principais, segundo Dantas (2013)	Vulnerabilidade
R2c	Chapadas e platôs	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em rochas sedimentares. • Superfícies tabulares alçadas, ou relevos soerguidos planos ou aplainados, não ou incipientemente pouco dissecados. • Franco predomínio de processos de pedogênese, com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. • Amplitude de relevo de 0 m a 20 m. Vertentes com topo plano, exceto os eixos dos vales fluviais. 	1,0
R2b1	Baixos platôs	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em rochas sedimentares. • Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares; sistema de drenagem principal com fraco entalhamento. • Predomínio dos processos de pedogênese, com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. • Vertentes com topo plano a suavemente ondulado (2° a 5°) e amplitude de relevo de 0 m a 20 m. 	1,2
R3a2	Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas. • Superfícies suavemente onduladas promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente. • Amplitudes de relevo muito baixas e longas rampas de muito baixa declividade. • Inclinação das vertentes de 0° a 5° e amplitude do relevo de 10 m a 30 m. 	1,2
R3a1	Superfícies aplainadas conservadas	<ul style="list-style-type: none"> • Superfícies aplainadas conservadas. • Superfícies planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares; sistema de drenagem principal com fraco entalhamento. • No Bioma Amazônia, há franco predomínio de processos de pedogênese com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa suscetibilidade à erosão. • Nos biomas Caatinga e Cerrado, há equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese. A despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos, e os processos de erosão laminar são significativos. • Amplitudes de relevo de 0 m a 10 m e inclinação das vertentes de 0° a 5°. 	1,2 (Bioma Amazônia) 1,9 (biomas Caatinga e Cerrado)
R2b3	Planaltos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares, mas também sobre rochas cristalinas. • Superfícies mais elevadas que os terrenos adjacentes, pouco dissecadas em formas tabulares ou colinas muito amplas. Sistema de drenagem principal com fraco entalhamento e deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. • Predomínio de processos de pedogênese (formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão). Ocorrências esporádicas de erosão, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). • Amplitude de relevo: 20 m a 50 m. Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado: (2° a 5°), excetuando-se os eixos dos vales fluviais 	1,3
R2a1	Tabuleiros	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em rochas sedimentares. • Formas de relevo suavemente dissecadas, com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de "U", resultantes de dissecação fluvial recente. • Predomínio de processos de pedogênese com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. • Ocorrências esporádicas de erosão, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas). • Amplitude de relevo: 20 m a 50 m. Vertentes com topo plano (0° a 30°). Localmente ressaltam-se vertentes acentuadas (10° a 25°). 	1,3

Cont...

Tabela 5. Continuação.

Sigla	Padrão de relevo	Características principais, segundo Dantas (2013)	Vulnerabilidade
R1e	Planícies costeiras (terraços marinhos e cordões arenosos)	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de agraduação. Zona de acumulação atual.. • Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenosos, apresentando microrrelevo ondulado, geradas por processos de sedimentação marinha e/ou eólica. • Terrenos bem drenados e não inundáveis. • Amplitude de relevo: até 20 m. Inclinação das vertentes: 0° a 5°. 	1,2
R2a2	Tabuleiros dissecados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em rochas sedimentares. • Formas de relevo tabulares, dissecadas por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, apresentando relevo movimentado de colinas com topos tabulares ou alongados e vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. • Predomínio de processos de pedogênese com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. • Ocorrência de processos de erosão laminar ou linear acelerada (sulcos e ravinas). • Amplitude de relevo: 20 m a 50 m. Vertentes com topos planos restritos (inclinação de 0° a 3°). Localmente ressaltam-se vertentes acentuadas (10° a 25°) 	1,7
R4a1	Domínios de colinas amplas e suaves	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia, predominando rochas sedimentares. • Relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos, de morfologia tabular ou alongada. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas • Predomínio de processos de pedogênese com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com baixa a moderada suscetibilidade à erosão • Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo de 20 m a 50 m e inclinação das vertentes de 3° a 10°. 	1,4
R2b2	Baixos platôs dissecados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em rochas sedimentares. • Superfícies ligeiramente mais elevadas que os terrenos adjacentes, francamente dissecadas em forma de colinas tabulares. Sistema de drenagem constituído por uma rede de canais com alta densidade de drenagem, que gera um relevo dissecado em vertentes retilíneas e declivosas nos vales encaixados, resultantes da dissecação fluvial recente. Deposição de planícies aluviais restritas em vales fechados. • Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese com formação de solos espessos e bem drenados, com moderada suscetibilidade à erosão. Eventual atuação de processos de laterização. • Ocorrências esporádicas de erosão, restritas a processos de erosão laminar ou linear acelerada (ravinas e voçorocas). • Amplitude de relevo: 20 m a 50 m. Inclinação das vertentes: topo plano a suavemente ondulado (2° a 5°), excetuando-se os eixos dos vales fluviais, onde se registram vertentes com declividades mais acentuadas (10° a 25°). 	2,0
R4a2	Domínio de colinas dissecadas e de morros baixos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia. • Relevo de colinas dissecadas, com vertentes convexo-côncavas e topos arredondados ou aguçados. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais restritas ou em vales fechados. • Equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese, com formação de solos espessos e bem drenados, em geral com moderada suscetibilidade à erosão. • Atuação frequente de processos de erosão laminar e ocorrência esporádica de processos de erosão linear acelerada (sulcos, ravinas e voçorocas). Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo de 30 m a 80 m e inclinação das vertentes de 5° a 20°. 	2,1

Cont...

Tabela 5. Continuação.

Sigla	Padrão de relevo	Características principais, segundo Dantas (2013)	Vulnerabilidade
R4f	Vales encaixados	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação predominantemente em rochas sedimentares. • Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, fortemente sulcadas, declivosas, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. Consistem em feições de relevo fortemente entalhadas pela incisão vertical da drenagem, formando vales encaixados e incisos sobre planaltos e chapadas, estes, em geral pouco dissecados. Assim como as escarpas e os rebordos erosivos, os vales encaixados apresentam quebras de relevo abruptas em contraste com o relevo plano adjacente. • Franco predomínio de processos de morfogênese com formação de solos rasos, em geral com alta suscetibilidade à erosão. • Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo de 50 m a 200 m. Inclinação das vertentes de 10° a 25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°). 	2,8
R4e	Degraus estruturais e rebordos erosivos	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia. • Relevo acidentado, constituído por vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. • Franco predomínio de processos de morfogênese (formação de solos rasos, em geral com alta suscetibilidade à erosão). • Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo de 50 m a 200 m. Inclinação das vertentes de 10° a 25°, com ocorrência de vertentes muito declivosas (acima de 45°). 	2,8
R4b	Domínio de morros e de serras baixas	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia. • Relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados. Também se insere nessa unidade o relevo de morros de topo tabular, característico das chapadas intensamente dissecadas e desfeitas em conjunto de morros de topo plano. Sistema de drenagem principal com restritas planícies aluviais. • Predomínio de processos de morfogênese com formação de solos pouco espessos em terrenos declivosos, em geral com moderada a alta suscetibilidade à erosão. • Atuação frequente de processos de erosão laminar e linear acelerada (sulcos e ravinas) e ocorrência esporádica de processos de movimentos de massa. Geração de colúvios e, subordinadamente, depósitos de tálus nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo de 80 m a 200 m, podendo apresentar desnivelamentos de até 300 m. Inclinação das vertentes de 15° a 35°. 	2,9
R1d	Planícies fluviomarinhas (mangues e brejos)	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de agração. Zona de acumulação atual. • Superfícies planas, de interface com os sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. • Terrenos muito mal drenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais bastante meandantes e divagantes, sob influência de refluxo de marés; ou resultantes da colmatção de paleolagunas. • Baixa capacidade de suporte dos terrenos. • Amplitude de relevo: zero. Inclinação das vertentes: plano (0°). 	3,0
R1f	Campos de dunas	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia. • Superfícies de relevo ondulado constituído de depósitos arenoquartzosos, bem selecionados, depositados por ação eólica longitudinalmente à linha de costa. • Por vezes, encontram-se desprovidos de vegetação e apresentam expressiva mobilidade (dunas móveis); ora encontram-se recobertos por vegetação pioneira (dunas fixas). • Amplitude de relevo: até 40 m. Inclinação das vertentes: de 3° a 30°. 	3,0

Cont...

Tabela 5. Continuação.

Sigla	Padrão de relevo	Características principais, segundo Dantas (2013)	Vulnerabilidade
R3b	<i>Inselbergs</i> e outros relevos residuais	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de aplainamento. • Relevos residuais isolados destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos. • Amplitude de relevo: 50 m a 500 m. Inclinação das vertentes de 25° a 45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60° a 90°). 	3,0
R4d	Escarpas serranas	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de degradação em qualquer litologia. • Relevo montanhoso, muito acidentado. Vertentes predominantemente retilíneas a côncavas, escarpadas e topos de cristas alinhadas, aguçados ou levemente arredondados, com sedimentação de colúvios e depósitos de tálus. Sistema de drenagem principal em franco processo de entalhamento. • Franco predomínio de processos de morfogênese, com formação de solos rasos em terrenos muito acidentados, em geral com alta suscetibilidade à erosão. Atuação frequente de processos de erosão laminar e de movimentos de massa. Geração de depósitos de tálus e de colúvios nas baixas vertentes. • Amplitude de relevo acima de 300 m. Inclinação das vertentes: de 25° a 45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60° a 90°). 	3,0
R1a	Planícies fluviais ou fluviolacustres (planícies de inundação, baixadas inundáveis e abacimentamentos)	<ul style="list-style-type: none"> • Relevo de agradação. Zona de acumulação atual. • Superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. • Terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis; bem drenados nos terraços. Os abacimentamentos (ou suaves depressões em solos arenosos) em áreas planas ou em baixos interflúvios, denominados áreas de acumulação inundáveis (Aai), frequentes na Amazônia, estão inseridos nessa unidade. • Amplitude de relevo: zero. Inclinação das vertentes: 0° a 3°. 	3,0

Conforme Crepani et al. (2001), as formas de acumulação, como as planícies e os terraços de origem fluvial, marinha ou lacustre, receberam valores próximos a 1,0 quando em áreas de relevo plano e estável. Já planícies e áreas sujeitas a inundação e de intensa morfodinâmica, nas quais os processos de morfogênese predominam sobre a pedogênese, receberam o valor 3,0, por serem instáveis, apesar do relevo plano.

A carta de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia é apresentada na Figura 4.

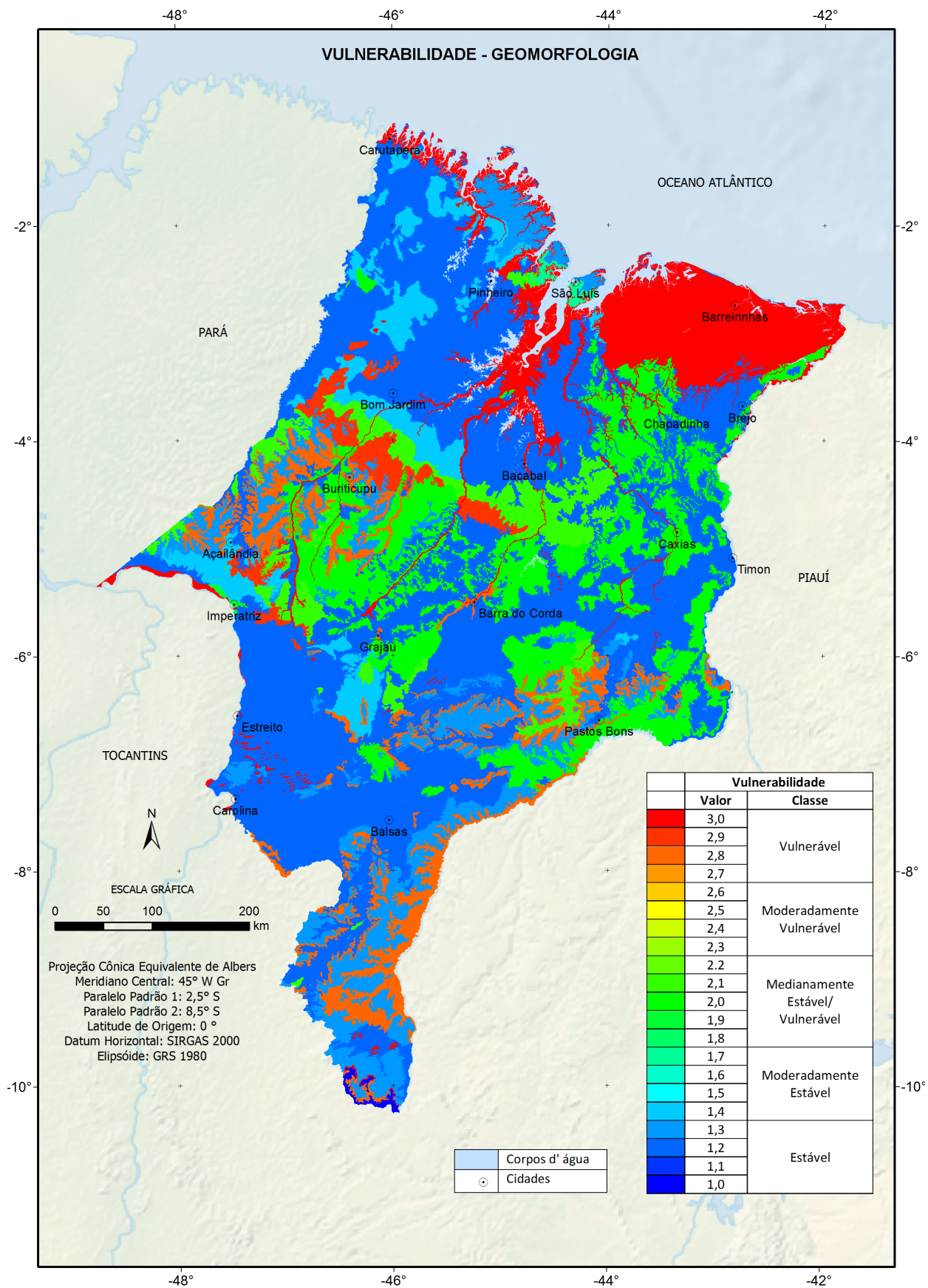


Figura 4. Carta de vulnerabilidade para o tema Geomorfologia.

Pedologia

Pela metodologia proposta por Crepani et al. (2001), a principal característica considerada para estabelecer as 21 classes de vulnerabilidade do tema Solos é o grau de maturidade do solo. Os solos são considerados produtos diretos do balanço entre a morfogênese e a pedogênese. Solos desenvolvidos, intemperizados e envelhecidos são encontrados em unidades da paisagem estáveis, onde os eventos naturais favorecem os processos de pedogênese. Solos jovens, pouco desenvolvidos são encontrados em unidades da paisagem vulneráveis, onde prevalecem os processos modificadores do relevo (morfogênese), com predomínio dos processos de erosão em detrimento dos processos de formação e desenvolvimento do solo (CREPANI et al., 2001).

Segundo esse princípio, procurou-se, de forma relativa e empírica, atribuir valores de vulnerabilidade às diversas classes de solos que constam do Mapa exploratório-reconhecimento de solos do Maranhão (Figura 5) (JACOMINE et al., 1986). Esses valores são apresentados na Tabela 6. A mesma tabela apresenta os possíveis enquadramentos das classes de solos usadas por Jacomine et al. (1986) no atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), baseados em Santos et al. (2013) e nos atributos das classes de solo descritos no mapa original. Como os critérios de classificação são diferentes, quando as classes de solo são especificadas apenas pelos níveis categóricos iniciais, alguns solos agrupados por Jacomine et al. (1986) em uma única classe podem distribuir-se por classes diferentes no atual SiBCS. Também, alguns solos enquadrados em classes diferentes por Jacomine et al. (1986) podem ser agrupados em uma mesma classe no atual SiBCS.

Tabela 6. Valores de vulnerabilidade por classes de solos.

Classes de solos (JACOMINE et al., 1986)	Classes de solos segundo o SiBCS	Vulnerabilidade
Latossolo Amarelo	Latossolo Amarelo	1,3
Latossolo Vermelho-Escuro	Latossolo Vermelho	1,2
Latossolo Roxo	Latossolo Vermelho	1,0
Terra Roxa Estruturada	Nitossolo Vermelho	1,5
Brunizém avermelhado	Chernossolo	1,8
Podzólico Vermelho-Amarelo	Argissolo, Nitossolo	1,5
Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário	Plintossolo	1,8
Podzólico Acinzentado	Argissolo acinzentado	2,2
Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico	Luvissolo, Argissolo, Nitossolo	1,5
Plintossolo	Plintossolo	2,7
Plintossolo Concrecionário	Plintossolo Pétrico	2,8
Planossolo	Planossolo	2,2
Cambissolo	Cambissolo	2,3
Vertissolo	Vertissolo	2,9
Vertissolo Tiomórfico	Vertissolo	3,0
Solos Indiscriminados de Mangues		3,0
Gleissolo	Gleissolo	2,8
Gleissolo Tiomórfico	Gleissolo Tiomórfico	3,0
Solonetz-Solodizado	Planossolo Nátrico	2,9
Solonchak-Solonétzico	Gleissolo	2,9
Solos Aluviais	Neossolo Flúvico	2,9
Areias Quartzosas	Neossolo Quartzarênico	2,9
Areias Quartzosas Marinhas	Neossolo Quartzarênico	2,9
Areias Quartzosas Hidromórficas	Neossolo Quartzarênico	2,9
Dunas		3,0
Solos Litólicos	Neossolo Litólicos	2,9
Afloramento de rochas		3,0

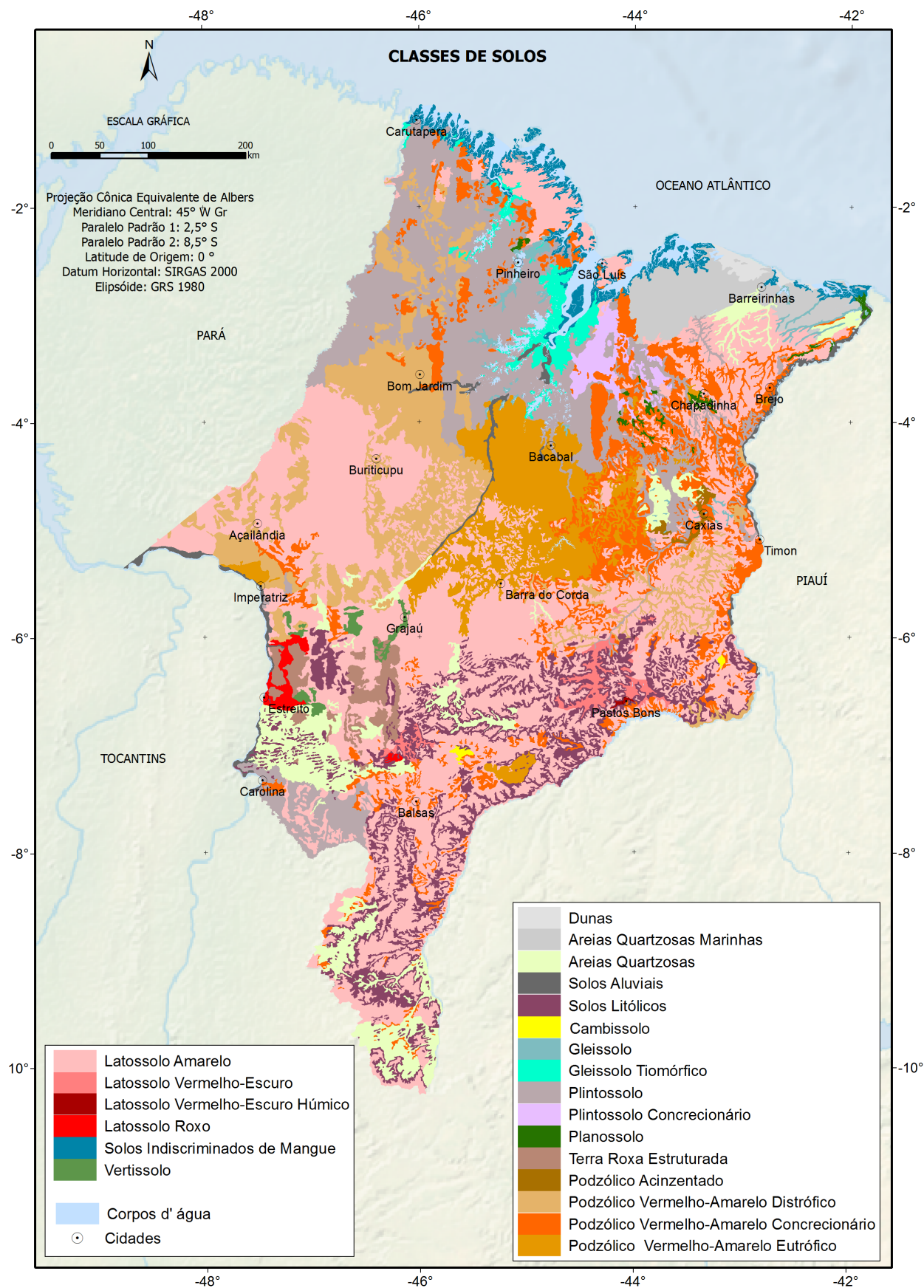


Figura 5. Mapa de solos simplificado do Estado do Maranhão.

Aos Latossolos, normalmente associados às unidades de paisagem natural estáveis, foram atribuídos valores próximos a 1,0 na escala de vulnerabilidade, conforme sugestão de Crepani et al. (2001). Segundo o Mapa exploratório – Reconhecimento de solos do Estado do Maranhão (JACOMINE et al. 1986), as classes de Latossolo que ocorrem no Maranhão são: Latossolo Amarelo (LA); Latossolo Vermelho-Amarelo (LV); Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e Latossolo Roxo (LR). São solos pouco suscetíveis aos processos erosivos, bem desenvolvidos, profundos, bastante porosos e permeáveis, os quais apresentam horizonte B latossólico caracterizado por avançado estágio de intemperismo, formação de argila de baixa atividade, capacidade de troca catiônica baixa, boa agregação, estrutura comumente granular e com pouca ou nenhuma acumulação de argila iluvial (GUERRA; BOTELHO, 1998). São solos geralmente ácidos, com predomínio de argilominerais do grupo 1:1, sesquióxidos (óxido de alumínio, Al_2O_3 e óxido de ferro, Fe_2O_3), quartzo e outros minerais altamente resistentes ao intemperismo.

Nas unidades de paisagem natural consideradas intermediárias quanto à estabilidade/vulnerabilidade, normalmente ocorrem solos com horizonte B textural caracterizado pelo acúmulo de argila por iluviação, translocação lateral interna ou formação no próprio horizonte (GUERRA; BOTELHO, 1998). Nesses solos, a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que favorece os processos erosivos (CREPANI et al., 2001). As classes de solos com vulnerabilidade intermediária encontradas no Estado do Maranhão são: Podzólico Vermelho-Amarelo (PV), Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico (PE), Podzólico Acinzentado (PA), Terra Roxa Estruturada (TR), Planossolo (PL), Cambissolos (CE) e Podzólico Vermelho-Amarelo Concrecionário. A esses solos foram atribuídos valores de vulnerabilidade próximos a 2, conforme sugestão de Crepani et al. (2001).

Aos solos jovens e poucos desenvolvidos foram atribuídos valores de vulnerabilidade próximos a 3. Esses solos têm como principal característica a pequena evolução do perfil. O horizonte A está assentado diretamente sobre o C ou diretamente sobre a rocha. São solos que ainda estão se desenvolvendo a partir de materiais de origem recentemente depositados ou que estão situados em locais de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo (CREPANI et al., 2001). No Maranhão, esses solos estão representados pelos solos Litólicos, solos Aluviais, Areias Quartzosas, Areias Quartzosas Marinhas e Dunas. Também ocorrem no estado solos das classes Vertissolo, Plintossolo, Plintossolo Concrecionário, Gleissolo e Solos Indiscriminados de Mangue, aos quais foram atribuídos valores próximos a 3,0, conforme sugestão de Crepani et al. (2001).

Em decorrência do nível generalizado do Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Maranhão (JACOMINE et al., 1986), raramente uma classe de solos é cartografada isoladamente, ocorrendo com maior frequência unidades de mapeamento, compostas por associações de solos, com dois ou mais componentes. Nesses casos, o valor de vulnerabilidade atribuído foi uma média ponderada das vulnerabilidades atribuídas a cada classe de solo componente da associação. Como não havia estimativa da área ocupada por cada componente, foram considerados os pesos de 60% para a classe principal e 40% para a classe secundária, nos casos de associações de duas classes de solos. Em associações com três e quatro tipos de solos, foram considerados os pesos de 60%, 30%, 10% e 60%, 20%, 10%, 10%, respectivamente. A carta de vulnerabilidade para o tema Solos é apresentada na Figura 6.

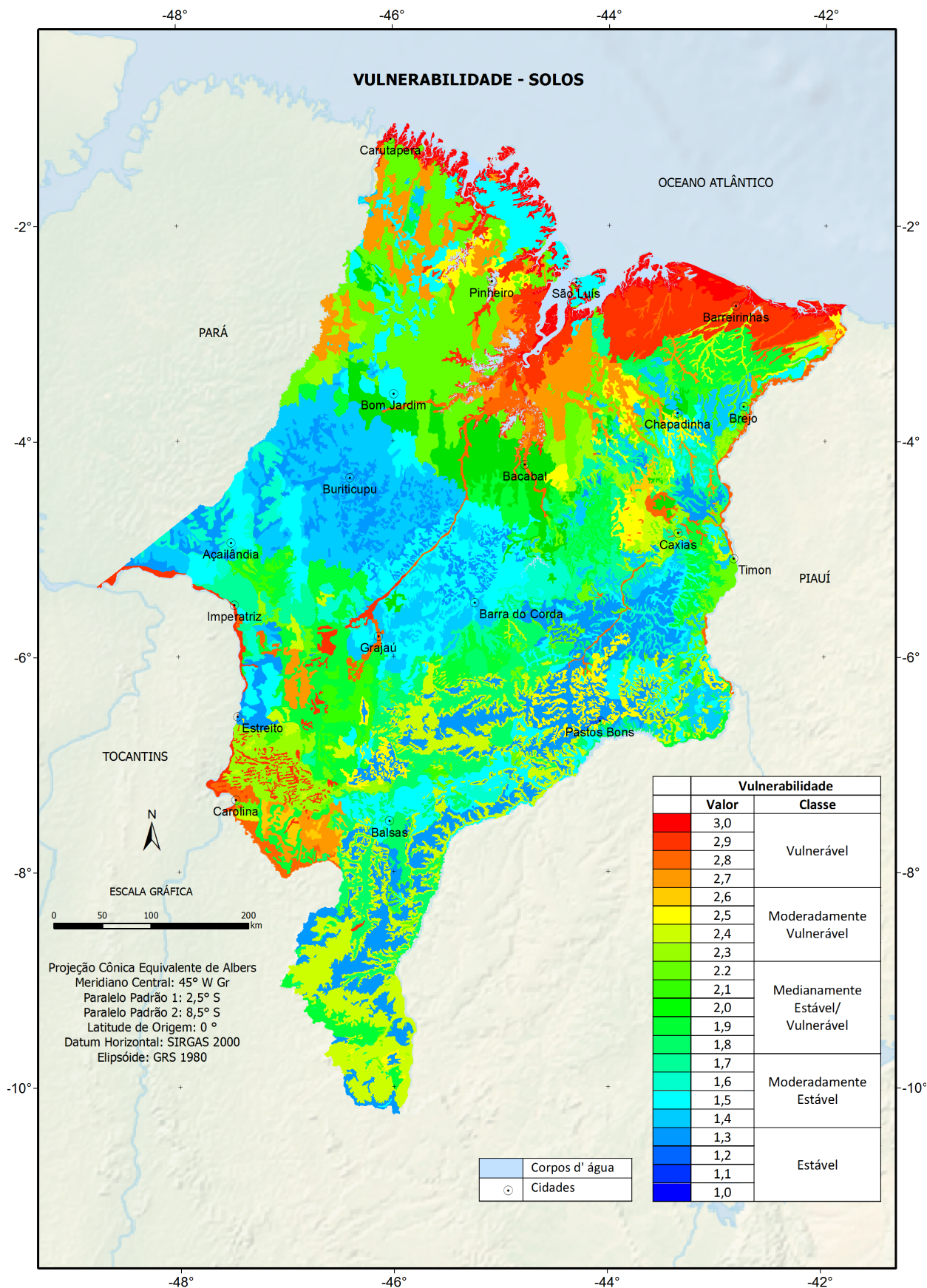


Figura 6. Carta de vulnerabilidade para o tema Solos.

Vegetação

A densidade de cobertura vegetal é um fator de proteção do terreno contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão e, portanto, é o parâmetro a ser considerado na determinação das 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo para o tema Vegetação (CREPANI et al., 2001).

Crepani et al. (2001) propuseram valores de vulnerabilidade para as diferentes formações vegetais mapeadas pelo projeto Radambrasil e para coberturas artificiais do terreno (pastagens, culturas perenes e culturas anuais). Esses valores foram usados como base para a atribuição da vulnerabilidade aos tipos de vegetação do Maranhão, mapeados pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – Probio – (PROBIO, 2007), na escala 1:250.000 (Figura 7), empregando imagens TM/Landsat de 2002 e a legenda do Manual técnico da vegetação brasileira (IBGE, 2012). De forma geral, valores próximos a 1,0 foram atribuídos a formações com altas densidades de cobertura do terreno; valores próximos a 3,0, a baixas densidades de cobertura; e valores próximos a 2,0, a densidades intermediárias. O mapa usado ainda contempla classes discriminadas apenas como vegetação secundária, agropecuária e áreas desmatadas entre 2002 e 2010, às quais foram atribuídos os valores de vulnerabilidade 2,5, 2,9 e 3,0, respectivamente. A Tabela 7 apresenta os valores de vulnerabilidade atribuídos a cada classe de formação vegetal ou uso antrópico que geraram a carta de vulnerabilidade para o tema Vegetação (Figura 8).

Tabela 7. Fisionomias vegetais e usos da terra com seus respectivos valores de vulnerabilidade, adaptado de Crepani et al. (2001).

Sigla	Formação vegetal	Vulnerabilidade
Da	Floresta ombrófila densa aluvial	1,0
Db	Floresta ombrófila densa das terras baixas	1,0
Ds	Floresta ombrófila densa das terras baixas	1,0
Ab	Floresta ombrófila aberta das terras baixas	1,2
As	Floresta ombrófila aberta submontana	1,2
Fa	Floresta estacional semidecidual aluvial	1,6
Fb	Floresta estacional semidecidual das terras baixas	1,6
Fs	Floresta estacional semidecidual submontana	1,6
Sd	Savana florestada	1,7
Pf	Vegetação com influência fluviomarinha	2,1
Sa	Savana arborizada	2,1
SN	Contato savana / floresta estacional	2,1
SO	Contato savana / floresta ombrófila	2,1
ST	Contato savana / savana estépica	2,1
STN	Contato savana / savana estépica / floresta estacional	2,1
Ta	Savana-estépica arborizada	2,1
Pa	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre	2,3
Sp	Savana parque	2,5
r	Refúgio vegetacional	2,7
Sg	Savana gramíneo-lenhosa	2,7
T	Savana estépica	2,7
Vs	Vegetação secundária	2,7
Ap	Pastagens	2,8
Ag	Agropecuária	2,9
Desm	Desmatamento	2,9
R	Reflorestamento	2,9
Ac	Agricultura	3,0
Ai	Outras / indiscriminadas	3,0
Iu	Influência urbana	3,0
Pm	Vegetação com influência marinha	3,0

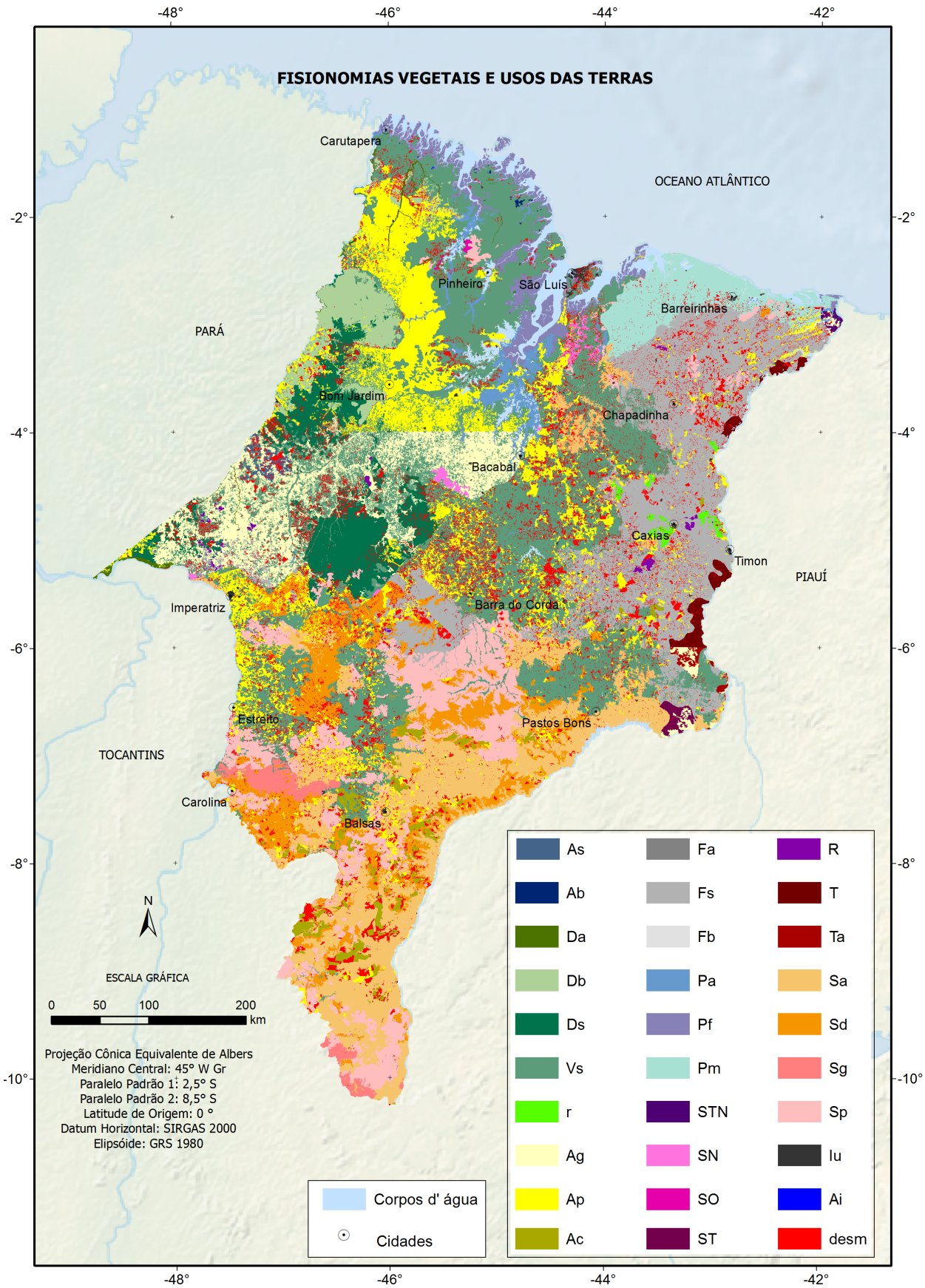


Figura 7. Mapa de fisionomias vegetais e usos das terras.

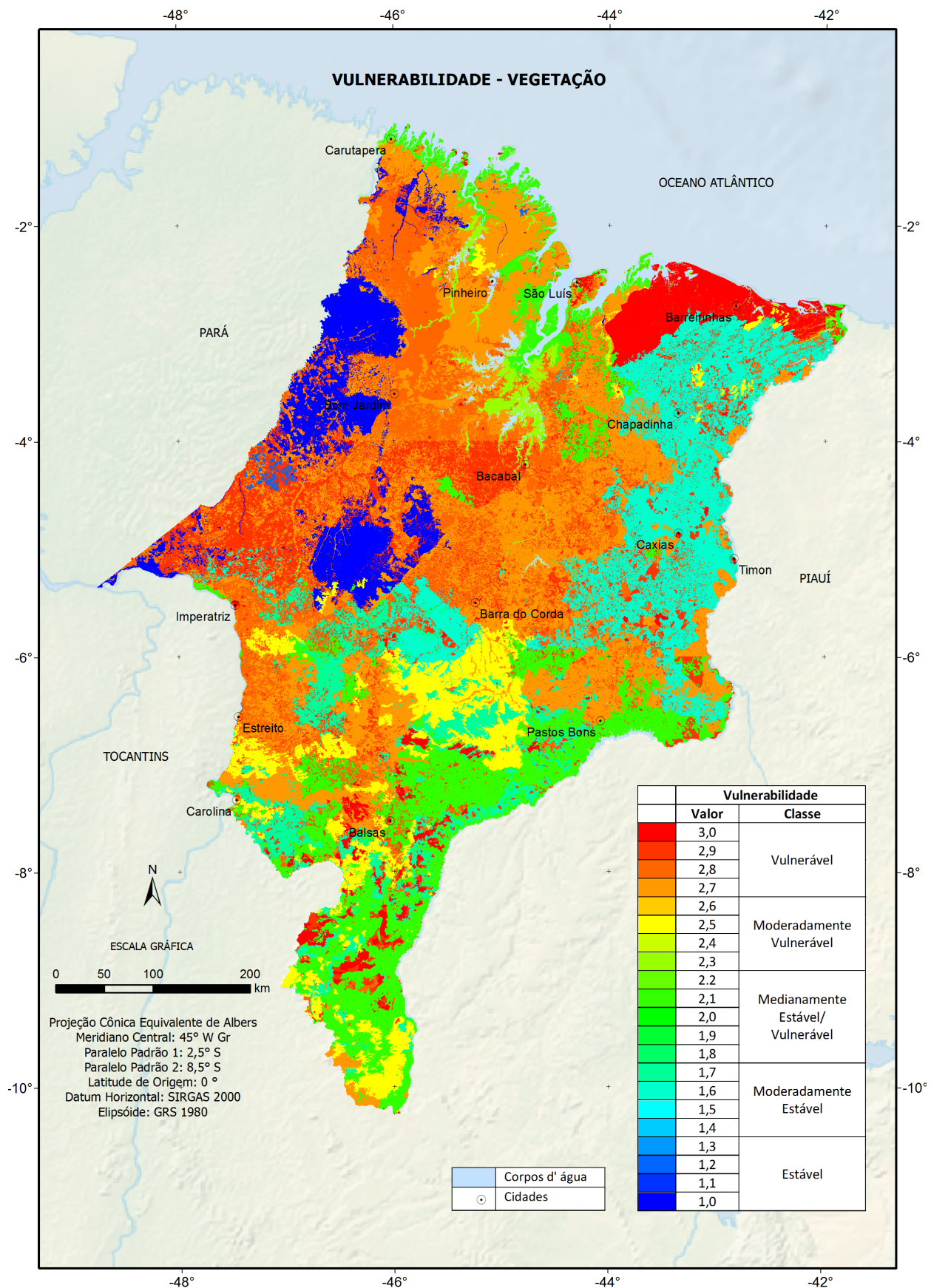


Figura 8. Carta de vulnerabilidade para o tema Vegetação.

Clima

O clima controla o intemperismo diretamente, pela precipitação pluviométrica e temperatura de uma região, e também indiretamente, pelos tipos de vegetação que poderão cobrir a paisagem (CREPANI et al., 2001).

A chuva é o principal agente do processo de denudação. Atua inicialmente sobre as rochas, provocando o intemperismo; e sobre o solo, removendo-o pela erosão hídrica. O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva (runoff ou enxurrada) são os agentes ativos da erosão hídrica dos solos. A intensidade da erosão é resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão (CREPANI et al., 2001).

O poder da chuva em causar erosão é chamado de erosividade, e é função das características físicas da chuva, entre as quais a pluviosidade total, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal. A intensidade pluviométrica para uma determinada área pode ser obtida por meio da divisão do valor da pluviosidade média anual (em mm) pela duração do período chuvoso (em meses). Sua importância é verificada facilmente quando se observa que uma elevada pluviosidade anual distribuída ao longo de todo o ano tem um poder erosivo muito menor que uma precipitação anual mais reduzida que cai torrencialmente em um curto período de tempo (CREPANI et al., 2001).

A intensidade pluviométrica é um indicativo da energia potencial que se transformará em energia cinética, responsável pela erosividade da chuva. Logo, quanto maior for o valor da intensidade pluviométrica, maior será a erosividade da chuva. Com base nesse princípio, Crepani et al. (2001) construíram uma escala de erosividade a partir de valores de intensidade pluviométrica. Essa escala comporta 21 classes de erosividade, às quais foram associados valores relativos e empíricos de vulnerabilidade natural à perda de solo, considerando que quanto maior é a erosividade da chuva, maior é a perda de solo das unidades de paisagem natural. Esses valores são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo, segundo Crepani et al. (2001).

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade	Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0	200 – 225	1,7	375 – 400	2,4
50 – 75	1,1	225 – 250	1,8	400 – 425	2,5
75 – 100	1,2	250 – 275	1,9	425 – 450	2,6
100 – 125	1,3	275 – 300	2,0	450 – 475	2,7
125 – 150	1,4	300 – 325	2,1	475 – 500	2,8
150 – 175	1,5	325 – 350	2,2	500 – 525	2,9
175 – 200	1,6	350 – 375	2,3	> 525	3,0

A distribuição espacial da intensidade pluviométrica média no Estado do Maranhão foi representada por um modelo numérico do terreno (MNT) obtido a partir de interpolação dos valores das isoietas ou isolinhas de precipitação média anual (PMA) do Brasil (Figura 9) (CPRM, 2013a). A duração do período chuvoso em meses (DPC) também foi representada por um MNT, obtido por interpolação dos valores das isolinhas de DPC extraídas do mapa de climas do Brasil (Figura 10) (IBGE, 2013).

O MNT de intensidade pluviométrica (IP) foi gerado pela divisão do modelo de PMA pelo modelo de DPC. Posteriormente, os valores de IP do MNT foram agrupados em classes de IP, segundo a escala de erosividade das chuvas da Tabela 8. A cada classe atribui-se o valor correspondente de vulnerabilidade, segundo a Tabela 8, gerando o mapa de vulnerabilidade para o tema Clima da Figura 11.

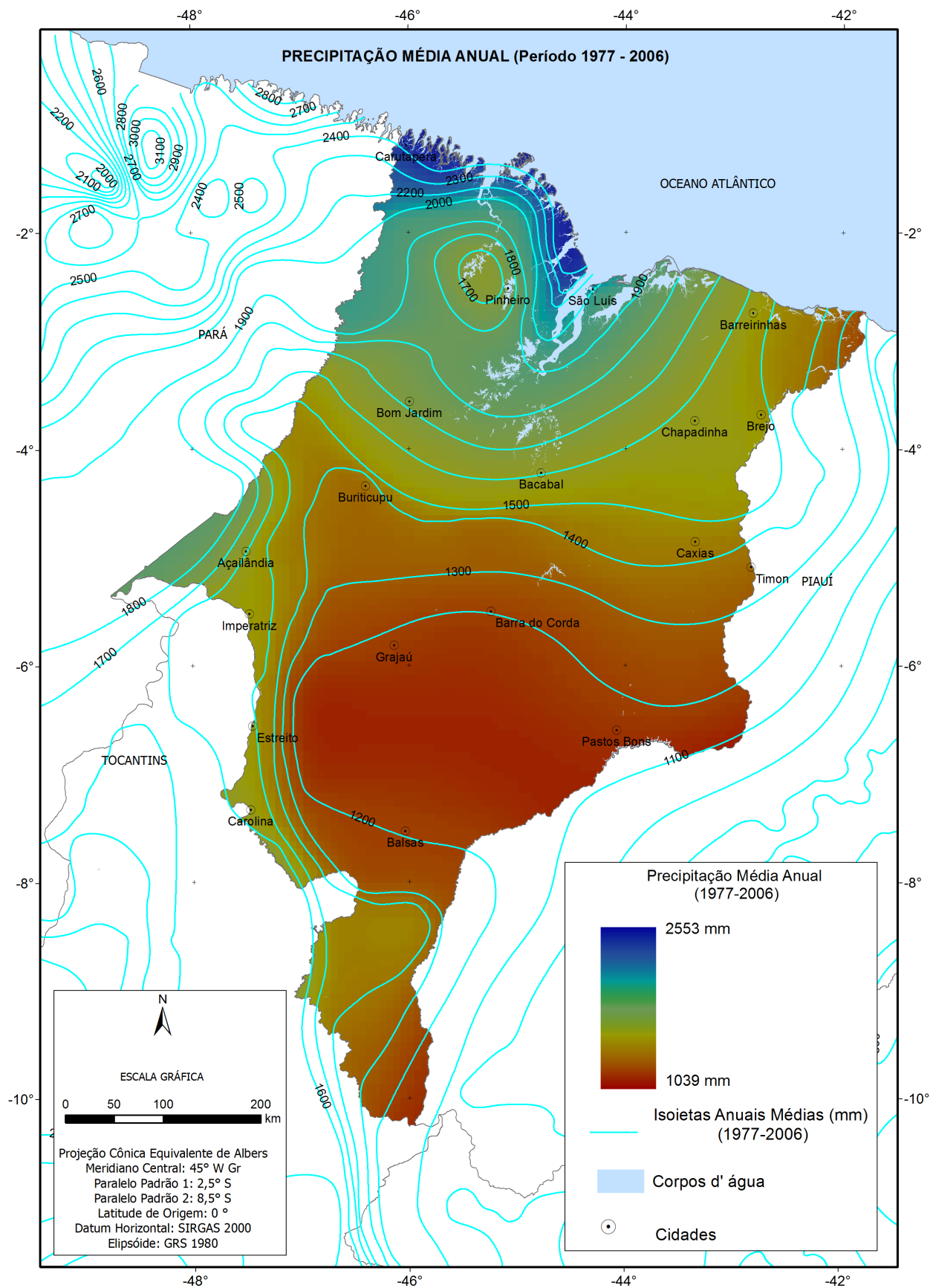


Figura 9. Isoietas anuais médias e representação do modelo numérico de terreno para a variável “precipitação média anual”.

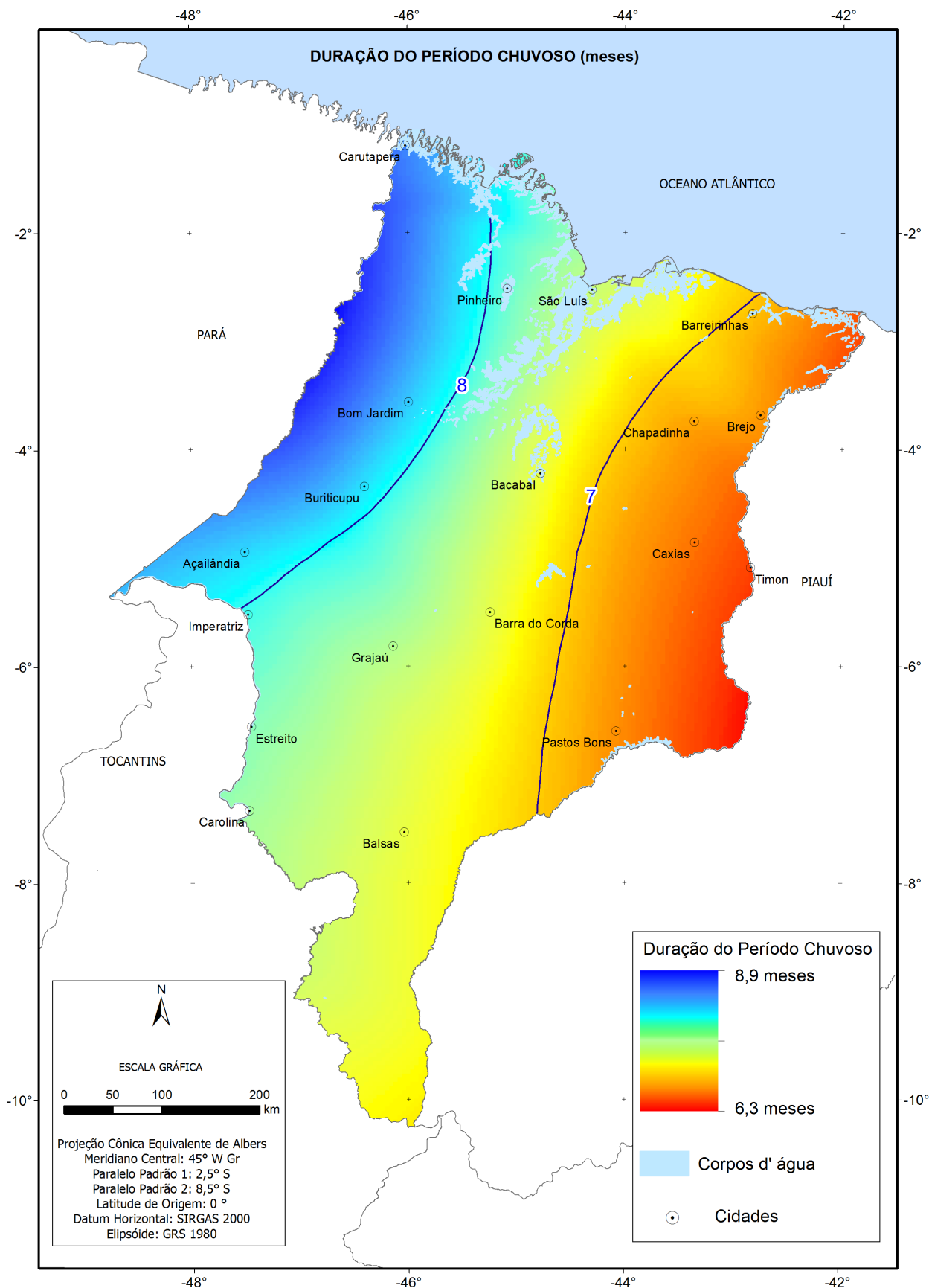


Figura 10. Representação do modelo numérico de terreno para a variável “duração do período chuvoso”.

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA E VULNERABILIDADE PARA O TEMA CLIMA

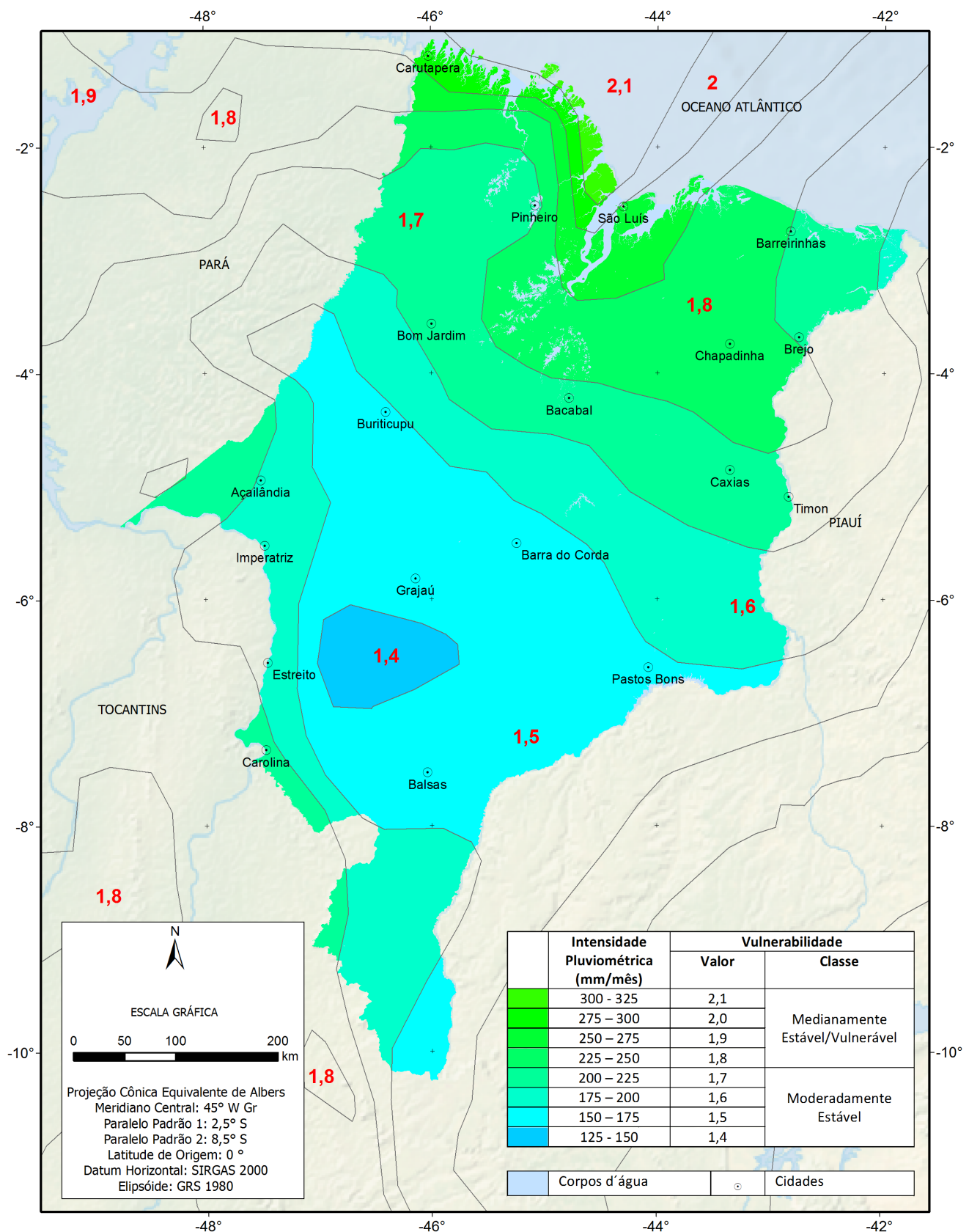


Figura 11. Mapa de vulnerabilidade para o tema Clima.

Cartas de vulnerabilidade natural à perda de solos

As cartas síntese de vulnerabilidade natural à perda de solos (Figuras 12 e 13) resultaram da aplicação da Equação 1 às cartas de vulnerabilidade referentes aos temas Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima. A Figura 12 apresenta os valores de vulnerabilidade dentro da faixa de 1,0 a 3,0. Na Figura 13, os valores de vulnerabilidade foram agrupados em classes de vulnerabilidade. As áreas ocupadas por cada valor e classe de vulnerabilidade e seus respectivos percentuais em relação à área total do estado são apresentados nas Tabelas 9 e 10.

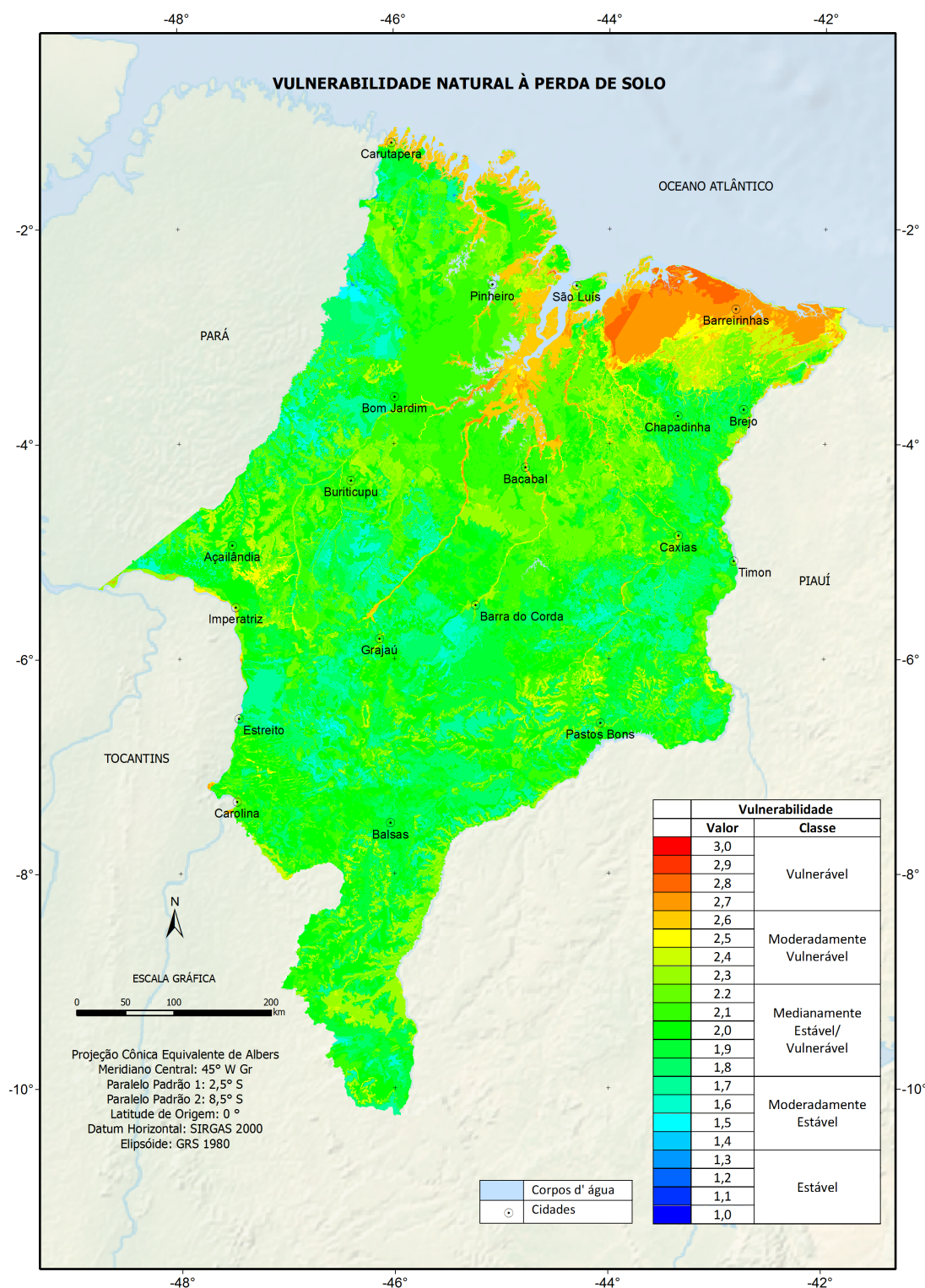


Figura 12. Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão.

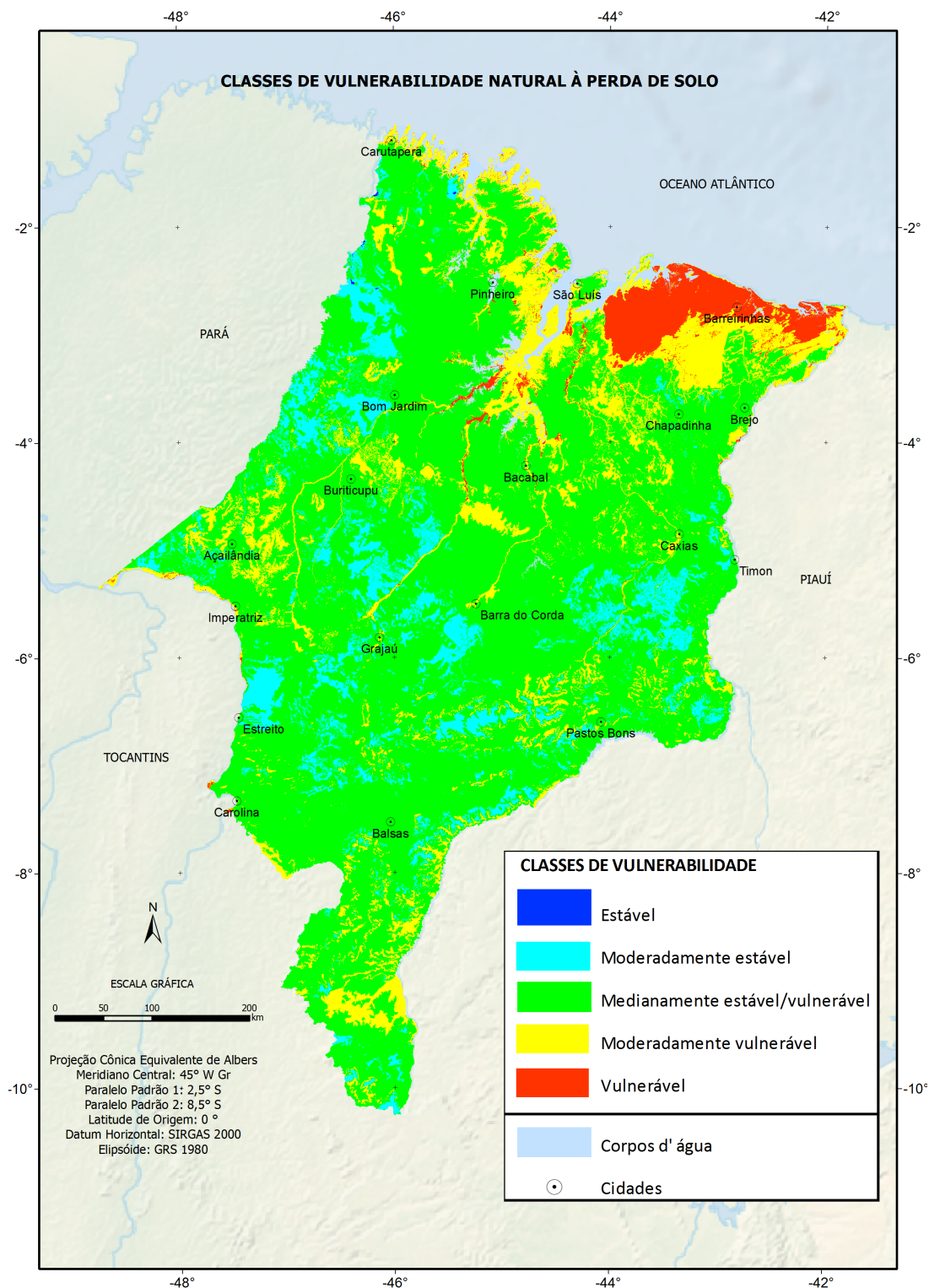


Figura 13. Carta simplificada de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão.

Tabela 9. Quantificação das áreas por valores e classes de vulnerabilidade natural à perda de solos.
Valores em ha.

Vulnerabilidade	Classes de vulnerabilidade					Água	Total
	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável/vulnerável	Moderadamente vulnerável	Vulnerável		
1,3	4.104						4.104
1,4		4.065					4.065
1,5		97.229					97.229
1,6		586.136					586.136
1,7		2.409.185					2.409.185
1,8			3.017.587				3.017.587
1,9			4.792.228				4.792.228
2,0			5.789.917				5.789.917
2,1			5.896.026				5.896.026
2,2			4.127.463				4.127.463
2,3				2.337.860			2.337.860
2,4				806.277			806.277
2,5				421.713			421.713
2,6				1.080.223			1.080.223
2,7					1.016.818		1.016.818
2,8					205.603		205.603
Água						590.585	590.585
Total	4.104	3.096.616	23,623,221	4,646,074	1,222,421	590.585	33.183.020

As áreas mais vulneráveis concentram-se na porção norte do estado e compreendem as regiões dos Lençóis Maranhenses, a Baixada Maranhense e as áreas litorâneas. No restante do estado, predominam as áreas classificadas como medianamente estáveis/vulneráveis, que perfazem cerca de 71% da área total do estado (Tabela 10). Áreas menores classificadas como moderadamente estáveis e moderadamente vulneráveis estão espalhadas por todo o estado de permeio com as áreas medianamente estáveis/vulneráveis.

Tabela 10. Quantificação das áreas por valores e classes de vulnerabilidade à perda de solos. Percentuais em relação à área total do estado.

Vulnerabilidade	Classes de vulnerabilidade					Água	Total
	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável/vulnerável	Moderadamente vulnerável	Vulnerável		
1,3	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1,4	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1,5	0,00	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29
1,6	0,00	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	1,77
1,7	0,00	7,26	0,00	0,00	0,00	0,00	7,26
1,8	0,00	0,00	9,09	0,00	0,00	0,00	9,09
1,9	0,00	0,00	14,44	0,00	0,00	0,00	14,44
2,0	0,00	0,00	17,45	0,00	0,00	0,00	17,45
2,1	0,00	0,00	17,77	0,00	0,00	0,00	17,77
2,2	0,00	0,00	12,44	0,00	0,00	0,00	12,44
2,3	0,00	0,00	0,00	7,05	0,00	0,00	7,05
2,4	0,00	0,00	0,00	2,43	0,00	0,00	2,43
2,5	0,00	0,00	0,00	1,27	0,00	0,00	1,27
2,6	0,00	0,00	0,00	3,26	0,00	0,00	3,26
2,7	0,00	0,00	0,00	0,00	3,06	0,00	3,06
2,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,00	0,62
Água	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,78	1,78
Total	0,01	9,33	71,19	14,00	3,68	1,78	100,0

Vulnerabilidade natural das unidades dos sistemas ambientais

Os estudos executados pelo IBGE para o Zoneamento geoambiental do Estado do Maranhão (MONTES et al., 1997) permitiram a compartimentação do território maranhense em 28 unidades dos sistemas naturais definidas pelas similaridades dos condicionantes regionais. Para que esses sistemas fossem caracterizados quanto à vulnerabilidade natural à perda de solos, foi feita, em um sistema de informação geográfica (SIG), a intersecção da carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do estado com a carta de unidades dos sistemas ambientais (Figura 14). Essa intersecção subdividiu a área de cada unidade dos sistemas ambientais de acordo com os diferentes valores e classes de vulnerabilidade natural à perda de solo. As áreas dessas subdivisões foram calculadas, o que permitiu construir as Tabelas 11 a 13, com as áreas pertencentes a cada valor e classe de vulnerabilidade dentro de cada unidade dos sistemas ambientais. Essas áreas estão quantificadas em km², em percentuais em relação à área total de cada unidade e em percentuais em relação à área total do estado. As unidades dos sistemas ambientais estão identificadas nas tabelas e na Figura 14 por números, a saber: 1 – Planícies Litorâneas, 2 – Tabuleiros do Lençóis Maranhenses, 3 – Baixada Maranhense, 4 – Superfície Sublitorânea de Bacabal, 5 – Superfície do Gurupi, 6 – Superfície do Baixo Gurupi, 7 – Colinas e Cristas do Gurupi, 8 – Tabuleiros Costeiros Maranhenses, 9 – Planalto Dissecado do Pindaré/Grajaú, 10 – Planalto Dissecado do Itapecuru, 11 – Chapada de Barra do Corda, 12 – Depressão de Imperatriz, 13 – Tabuleiros Sublitorâneos, 14 – Patamar de Caxias, 15 – Tabuleiros do Parnaíba, 16 – Tabuleiros do Médio Itapecuru, 17 – Patamar das Cabeceiras do Mearim, 18 – Patamar de Porto Franco/Fortaleza dos Nogueiras, 19 – Planos Arenosos de Riachão, 20 – Depressão do Rio Sereno, 21 – Tabuleiros de Balsas, 22 – Vãos do Alto Itapecuru, 23 – Chapadões do Alto Itapecuru, 24 – Chapadas do Alto Parnaíba, 25 – Vãos do Alto Parnaíba, 26 – Cabeceiras do Parnaíba, 27 – Chapada das Mangabeiras e 28 – Planícies Fluviais.

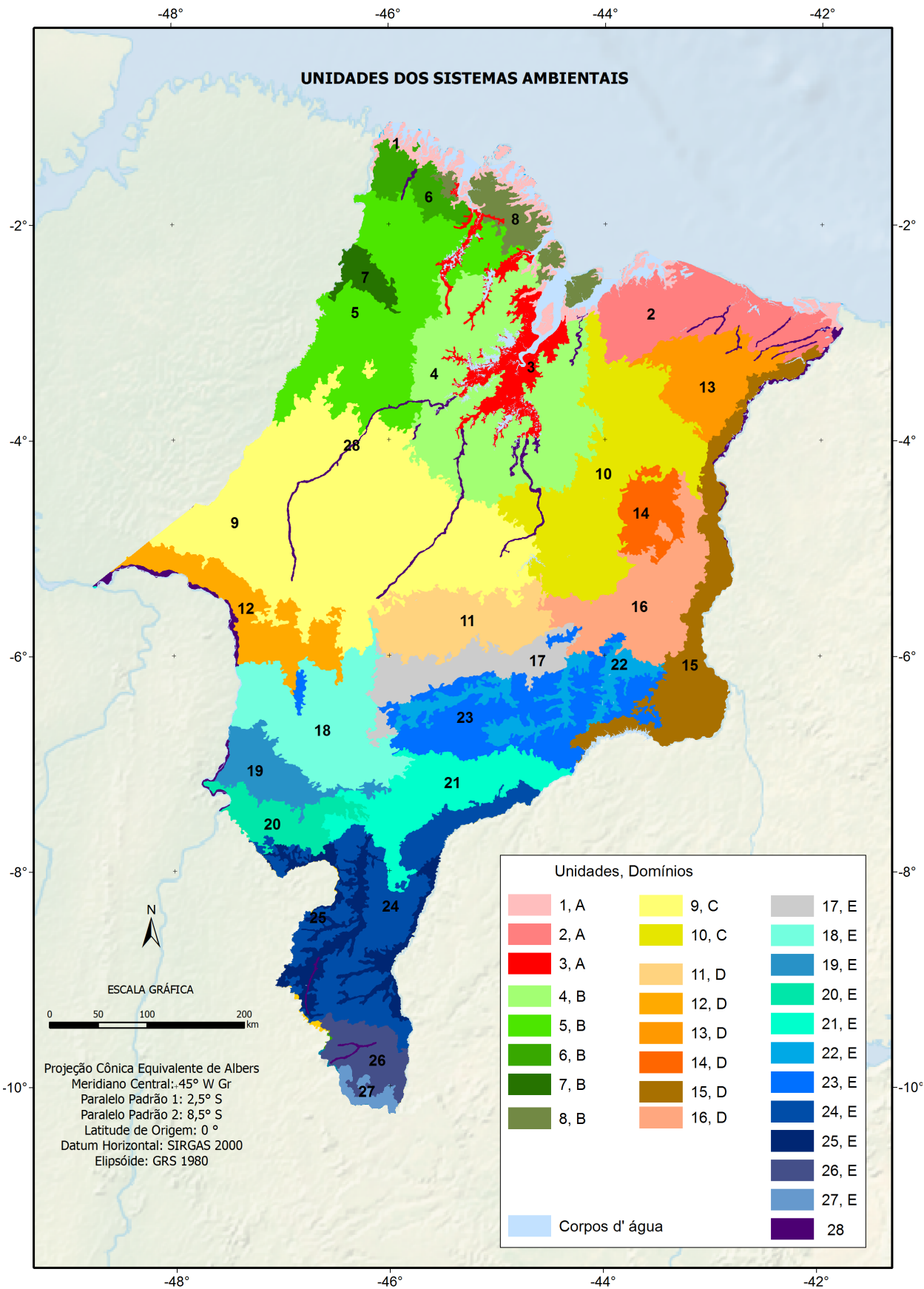


Figura 14. Carta das unidades dos sistemas ambientais para o Estado do Maranhão.

Tabela 12. Classificação das áreas dos sistemas ambientais quanto à vulnerabilidade natural. Áreas em hectares.

Sistemas ambientais	Estável (ha)	Moderadamente estável (ha)	Medianamente estável/vulnerável (ha)	Moderadamente vulnerável (ha)	Vulnerável (ha)	Água (ha)	Total (ha)
Água						584.925,64	584.925,64
1		4.538,40	59.028,10	432.526,47	84.329,67	7.131,42	587.554,05
2		61,08	13.274,99	369.031,16	972.039,07		1.354.406,30
3	6,1	595	162.034,89	481.870,85	60.049,53		704.556,36
4		807,83	2.403.794,66	246.476,50	36.182,90		2.687.261,89
5	1.278,70	427.225,06	1.794.753,71	176.572,22	1.277,62		2.401.107,32
6	322,26	18.752,97	355.471,66	11.733,43	661,4		386.941,71
7	1.728,27	79.075,20	132.724,08	170,65			213.698,20
8	763,26	21.017,00	374.581,69	100.462,22	7.050,56		503.874,74
9		653.822,89	3.870.820,11	682.498,68	385,75		5.207.527,44
10		71.076,26	1.946.541,08	393.013,12	7.790,36		2.418.420,83
11		219.370,64	824.297,96	8.502,34	1,13		1.052.172,07
12		99.868,72	792.647,97	44.418,32	495,97		937.430,97
13		12.268,38	495.415,89	359.556,52	8.428,88		875.669,68
14		363,22	392.771,53	57.543,50	606,54		451.284,80
15		109.114,47	1.087.587,71	128.747,29	881,74		1.326.331,20
16		398.029,90	877.090,43	25.925,21	720,04		1.301.765,58
17		61.571,29	704.990,58	6.831,67			773.393,54
18		378.632,21	1.147.672,59	36.479,96	396,52		1.563.181,28
19		22.835,33	524.123,06	15.247,01			562.205,40
20		323,42	506.834,67	13.493,06	2.088,39		522.739,54
21		42.114,57	1.137.391,57	22.516,11			1.202.022,25
22		15.728,68	604.751,62	46.325,77	151,35		666.957,41
23		242.867,59	1.038.418,50	197.980,48			1.479.266,57
24		145.131,88	1.169.418,74	393.857,70			1.708.408,33
25		2.944,39	546.153,04	144.965,64			694.063,07
26		34.244,85	419.608,82	13.185,31			467.038,99
27		31.171,94	71.210,89	21.659,75			124.042,58
28		2.662,10	166.351,41	208.838,57	38.066,65		415.918,73
Total	4.098,59	3.096.215,26	23.619.761,96	4.640.429,54	1.221.604,07	592.057,06	33.174.166,48

Pelos percentuais expressos na Tabela 13, é possível qualificar as unidades dos sistemas ambientais quanto à sua vulnerabilidade natural à perda de solo. Entre as unidades mais vulneráveis destacam-se a unidade 2 (Tabuleiros do Lençóis Maranhenses), com 72% de sua área classificada como vulnerável, e as unidades 1 (Planícies Litorâneas), 3 (Baixada Maranhense) e 28 (Planícies Fluviais), com 74%, 68% e 50% de suas áreas classificadas como moderadamente vulneráveis, respectivamente. Nas demais unidades, predominam as áreas classificadas como medianamente estáveis/vulneráveis, que perfazem percentuais sempre superiores a 50% da área total da unidade.

Entre as unidades com predominância de áreas medianamente estáveis/vulneráveis, há aquelas que têm parcelas expressivas de suas áreas classificadas como moderadamente estáveis, como é o caso das unidades 7, 16, 27 e 18, com 37%, 31%, 25% e 24% de suas áreas classificadas como moderadamente estáveis, respectivamente. Outras já têm parcelas expressivas classificadas como moderadamente vulneráveis, como é o caso das unidades 13, 24 e 8, com 41%, 23% e 20% de suas áreas classificadas como moderadamente vulneráveis, respectivamente. Há, ainda, aquelas unidades com amplo predomínio de áreas medianamente estáveis/vulneráveis (percentuais superiores a 80%), caso das unidades 4, 6, 10, 12, 14, 15, 19, 20, 21, 22 e 26.

Referências

BRASIL. Decreto nº. 4.297, de 10 de julho de 2002. **Regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4297.htm>. Acesso em: 18 fev. 2010.

BRASIL. Decreto nº 6.288, de 6 de dezembro de 2007. **Dá nova redação ao art. 6º e acresce os arts. 6-A, 6-B, 6-C, 13-A e 21-A ao Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Decreto/D6288.htm>. Acesso em: 18 fev. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. **Apresentação.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=28&idConteudo=8196&idMenu=8774>>. Acesso em: 18 fev. 2010a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Extrativismo e Desenvolvimento Rural Sustentável. Programa Zoneamento Ecológico-Econômico. **O que é ZEE?** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/sitio/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=28&idConteudo=8197&idMenu=8775>>. Acesso em: 18 fev. 2010b.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Atlas pluviométrico do Brasil.** Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=1351&sid=9>>. Acesso em: 4 set. 2013a.

CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **Geobank – Download de arquivos vetoriais - Mapas Estaduais de Geodiversidade – Maranhão.** Arquivo gdma_lito.zip (compactado) Escala 1: 1.000.000. Disponível em: <<http://geobank.sa.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 4 set. 2013b.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial.** São José dos Campos: INPE, 2001. 124 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ, P.; FLORENZANO, T. DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico.** São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.

DANTAS, M. E. Biblioteca de relevo do território brasileiro. In: BANDEIRA, I. C. N. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013. 294 p. (Apêndice II – p.1-22).

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos Solos. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 181-227.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira, 2012**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/documentos/recursos_naturais/manuais_tecnicos/manual_tecnico_vegetacao_brasileira.pdf>. Acesso em: 13 maio 2013.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências – Produtos – Mapa de Climas do Brasil**. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/mapas_murais/shapes/clima/>. Acesso em: 4 set. 2013.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; PESSOA, S. C. P.; BURGOS, N.; MEDEIROS, L. A. R.; LOPES, O. F.; MELO FILHO, H. F. R. de; FORMIGA, R. A.; DURIEZ, M. A. de M. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado do Maranhão**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS; Recife: SUDENE-DRN, 1986. 2. v. 964 p.(EMBRAPA-SNLCS. Boletim de Pesquisa, 035; SUDENE. Recursos de Solos, 017).

MONTES, M. L.; COSTA, R. C. R.; SILVA, G. B.; FONSECA, E. G.; ORLANDI, R. P.; LIMA, E. A.; FONSECA, A. L. B. **Zoneamento Geoambiental do Estado do Maranhão**: diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1997. (não paginado).

PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Mapas de cobertura vegetal dos biomas brasileiros**. Consolidação das informações e elaboração do texto: Júlio Cesar Roma. 2007. 18 p. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf>. Acesso em: 13 maio 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013, 353 p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977. 91 p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente).



Monitoramento por Satélite